



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# TALOUDELLISEMMAN VALAIS- TUKSEN SUUNNITTELU TOI- MISTOON JA TEOLLISUUSHAL- LIIN

TEKIJÄ: Eetu Seppänen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Eetu Seppänen			
Työn nimi Taloudellisemman valaistuksen suunnittelu toimistoon ja teollisuushalliin			
Päiväys	14.04.2014	Sivumäärä/Liitteet	63/2
Ohjaajat lehtori Heikki Laininen, yliopettaja Juhani Rouvali			
Toimeksiantaja Suomen Led-valaisimet Oy			
Tiivistelmä  <p>Opinnäytetyössä suunniteltiin Suomen Led-valaisimet Oy:n asiakkaalle taloudellisempia valaistusvaihtoehtoja toimistoon ja teollisuushalliin. Valaistussuunnitelmat toteutettiin käyttäen Suomen Led-valaisimien valaisimia. Asiakkaalle suunniteltiin erilaisia valaistusratkaisuja, joista asiakas sai valita mieluisimman. Valaistussuunnitelmat tehtiin kustannustehokkaasti huomioiden energiatehokkuus ja alhaiset investointikustannukset.</p> <p>Valaistussuunnitelmat tehtiin DIALux 4.12 -ohjelmiston ja taloudellisuuslaskelmat Fagerhult LCC -ohjelmiston avulla. Valaistussuunnitelmat ja taloudellisuuslaskelmat tehtiin LED-valaisimien elinkaaren ajalle olettaen tekniikan kehittyvän niin paljon, ettei samaa valaisinta kannata enää elinkaarensa loputtua uudelleen saneerata.</p> <p>Työssä perehdyttiin standardien ja säännöksiin mukaiseen valaistussuunnitteluun. Lisäksi syvennyttiin sisävalaistuksen perusteisiin ja yleisiin valaistussuureisiin sekä erityisesti LED-valaisimiin ja muiden valonlähteiden korvaamiseen LED-valonlähteellä.</p> <p>Kustannuslaskelmien perusteella nykyisen valaistuksen korvaaminen kaikilla opinnäytetyössä esitetyillä ratkaisulla tulee kannattavaksi. Valaistusratkaisuilla saadaan tuhansien eurojen säästö lasketuilla aikaväleillä.</p>			
Avainsanat LED, valaistussuunnittelu, elinkaarilaskelmat			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Eetu Seppänen			
Title of Thesis Designing More Economical Lighting to an Office and Industrial Building			
Date	14 April 2014	Pages/Appendices	63/2
Supervisors Mr. Heikki Laininen, Lecturer, Juhani Rouvali, Principal Lecturer			
Client Organisation Suomen Led-valaisimet Oy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was get familiar with indoor lighting solutions based on standards and rules. Also the purpose of this thesis was to get familiar with lighting quantity, led lights and other replacing led lighting solutions.</p> <p>This thesis was commissioned by Suomen Led-valaisimet Oy. The aim of the thesis was to design economical lighting solutions to an office and industrial building. The lighting solutions were implemented as led lights by Suomen Led-valaisimet. Different lighting solutions were offered for the customer. All the lighting solutions were made cost-effective, energy-efficient and profitable. The customer can choose the best option from the different lighting solutions.</p> <p>Lighting designs were made by using the DIALUX 4.12 program. Economical calculations were done by using the Fagerhult LCC program. Designs were made to the end of the led lights' lifecycle.</p> <p>The result of this thesis was that all led lighting solutions were more cost effective than the original lighting solutions.</p>			
Keywords LED, lighting designs, lifecycle calculations.			

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
2	SUOMEN LED-VALAISIMET .....	8
3	VALAISTUSSUUREET .....	9
3.1	Isolux-kuvaaja .....	9
3.2	Luminanssi $L$ .....	9
3.3	Valaistusvoimakkuus $E$ .....	9
3.4	Valonjakokäyrä .....	10
3.5	Valotehokkuus $\eta$ .....	10
3.6	Valovirta $\Phi$ .....	10
3.7	Valovoima $I$ .....	10
3.8	Väriämpötila $K$ .....	10
3.9	Värintoistoindeksi $R_a$ .....	11
4	VALAISIMET .....	12
4.1	Valaisimien rakenne .....	12
4.2	Loistelamput .....	12
4.3	LED-tekniikka .....	13
4.3.1	LED-liitäntälaitteet .....	14
4.3.2	LED-ohjaus .....	14
4.3.3	LED-valonlähteen ominaisuudet .....	14
4.3.4	LED:ien valonjako .....	16
4.3.5	Valonlähteen korvaaminen LED-valonlähteellä .....	16
4.3.6	Loisteputken korvaaminen LED-valoputkella .....	17
5	VALAISTUSSUUNNITTELU .....	19
5.1	Työtilan valaistussuunnittelu .....	19
5.1.1	Sisätyötilan valaistussuunnittelu .....	19
5.1.2	Valaisimien sijoittaminen .....	20
5.1.3	Valaistuksen huolto .....	20
5.1.4	Päivänvalon vaikutus .....	21
5.1.5	Kalusteiden vaikutus .....	21
5.1.6	Laskentatuloksien tulkinta .....	21
5.2	Sisävalaistusstandardit .....	22

5.2.1	Valaistusvoimakkuuden laskenta ja tasaisuus .....	22
5.2.2	Luminanssijakauma.....	24
5.2.3	Häikäisy.....	24
5.2.4	Sylinterivalaistusvoimakkuus Ez .....	25
5.2.5	Väriominaisuudet .....	26
5.2.6	Välkyntä ja stroboskooppi-ilmiö .....	26
5.2.7	Näyttöpäätetyötilojen valaistus .....	26
5.2.8	Valaistuksen alenemakerroin .....	26
5.2.9	Energiatehokkuusvaatimukset .....	27
5.3	EuP-direktiivin vaikutus toimistovalaitukseen.....	27
5.4	DIALux-valaistuslaskentaohjelma .....	27
5.5	Fagerhult LCC -kustannuslaskentaohjelma.....	28
5.6	Valaistuksen ohjaus ja säätö.....	28
5.7	DALI-ohjausjärjestelmä.....	28
5.7.1	Läsnäolo-ohjaus.....	29
5.7.2	Vakiovalo-ohjaus .....	30
5.7.3	Valaistuksen kello-ohjaus.....	30
6	ENERGIATEHOKKUUS .....	31
6.1	Energiankulutus toimistoissa.....	31
6.2	Valaistuksen energiatehokkuus .....	31
6.2.1	LENI-luku.....	32
6.2.2	Valaisimen valinta osana energiatehokkuutta .....	33
6.3	Valaistusjärjestelmän kustannukset .....	34
7	KOHTEEEN SUUNNITTELU .....	35
7.1	Toimisto.....	35
7.1.1	Toimiston nykytilanteen mallintaminen .....	35
7.1.2	Valaistusratkaisu 1.....	41
7.1.3	Valaistusratkaisu 2.....	43
7.1.4	Korvaavien LED-valaisimien ratkaisu .....	45
7.1.5	Kustannuslaskelmat toimiston valaistusratkaisuille .....	45
7.2	Teollisuushalli .....	49
7.2.1	Valaistusratkaisu 1 .....	52
7.2.2	Valaistusratkaisu 2.....	54

7.2.3	Valaistusratkaisu 3 .....	56
7.2.4	Kustannuslaskelmat teollisuushallin valaistusratkaisuille.....	57
8	YHTEENVETO.....	61
	LÄHTEET .....	62
	LIITE 1: TOIMISTON VALAISTUSRATKAISUJEN KUSTANNUKSIEN KUVAAJA.....	64
	LIITE 2: TEOLLISUUSHALLIN VALAISTUSRATKAISUJEN KUSTANNUKSIEN KUVAAJA .....	65

## 1 JOHDANTO

Sähkötekniikan koulutusohjelmassa valaistus ja sen energiatehokkuus ovat keskeisiä asioita, joten opinnäytetyön tekeminen tästä aiheesta oli kiinnostavaa. Suomen LED-valaisimet Oy tarjosi tätä aihetta opinnäytetyöksi.

Työn tarkoituksena on suunnitella Suomen LED-valaisimet Oy:n asiakkaalle toimistoon ja teollisuushalliin uusi valaistus. Työn teoriaosuudessa paneudutaan sisätyötilojen valaistussuunnittelun vaatimuksiin ja LED-valaistuksen tuomiin hyötyihin ja etuihin.

Opinnäytetyössä mallinnetaan vanhat valaistukset ja tehdään uudet valaisinmallinnukset DIALux 4.12 -ohjelmalla. Mallinnuksien jälkeen työssä tehdään elinkaarikustannuslaskelmat Fagerhult Life Cycle Cost -ohjelmalla. Työn pohjalta Suomen LED -valaisimet Oy pystyy toteuttamaan asiakkaalleen mahdollisimman kustannustehokkaan valaistuksen Valoa LED-tuoteperheen valaisimilla. Kustannuslaskelman pohjalta näkee, kuinka paljon energiaa säästyy vuodessa ja missä ajassa LED-valaisimet maksavat itsensä takaisin.

Energiatehokkuuteen on nykyisin alettu kiinnittämään entistä enemmän huomiota erilaisten standardien ja tiukentuneiden määräysten takia. Esimerkkinä mainittakoon EUP-direktiivi. Vaikutukset eivät ole pelkästään rakentamisessa, vaan myös kiinteistöjen käyttökustannuksissa. Tästä syystä kiinteistöjen valaistuksien energiatehokkuutta parannetaan. Energiatehokkuuteen panostamalla säästää pitkällä aikavälillä. Valaistuksen energiatehokkuus on parantunut LED-valaisimien ansiosta. LED-valaisimet ovat kehittyneet nopeasti, ja tulevaisuudessa ne yleistyvät entisestään. (DESKI.)

Toinen valaistuksen muuttamiseen ja päivittämiseen vaikuttava tekijä on työhyvinvoinnin edistäminen. Nykyinen valaistussuunnitteluohjeistus antaa entistä enemmän ohjearvoja työpaikkojen valaistuksen vaatimuksiin. Valaistusta muuttamalla voi siis säästää rahaa ja lisätä hyvinvointia.

## 2 SUOMEN LED-VALAISIMET

Suomen Led-valaisimet Oy on suomalainen vuonna 2012 perustettu yritys, joka sijaitsee Kuopiossa. Suomen Led-valaisimet valmistaa ja maahantuo LED-valaisimia. Näistä valaisimista yritys toimittaa valaistusratkaisuja teollisuuteen, toimistoihin ja myymälävalaistukseen. Valaistusratkaisut toteutetaan Valoa LED -tuoteperheen valaisimilla. Yrityksen tarkoituksena on laajentaa ja kehittää valaisinvalikoimia asiakkaan vaativimpienkin tarpeiden mukaisesti. Valikoiman valaisimet pohjautuvat energiansäästöön ja samalla ne lisäävät tuottavuutta. (Suomen LED-valaisimet Oy.)

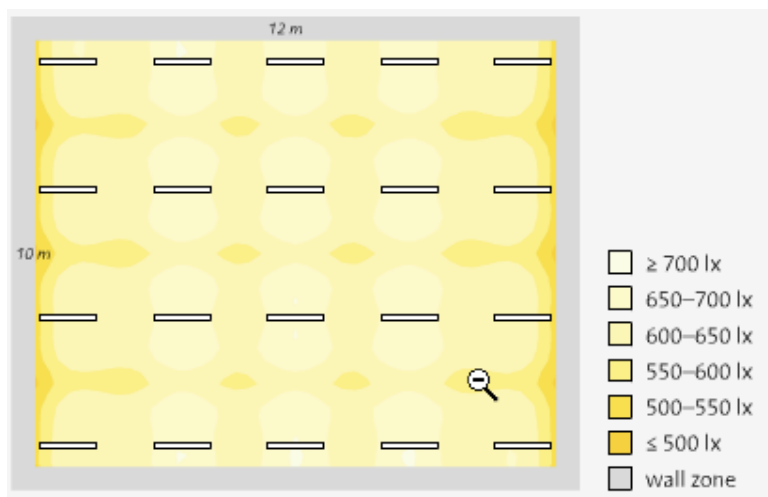
Valoa LED -valaisimet ovat ympäristöystävällisiä, sillä ne eivät sisällä elohopeaa ja ovat kierrätettäviä. Parhaimmillaan Valoa LED -valaisimille luvataan jopa 70 000 tunnin käyttöikä, joten valaisimien pitkä elinkaari vähentää valaistuksesta syntyvää hiilijalanjälkeä. (Suomen LED-valaisimet Oy.)



### 3 VALAISTUSSUUREET

#### 3.1 Isolux-kuvaaja

Isolux-kuvaajassa (kuvio 1) esitetään tilan valaistusvoimakkuuden jakautuminen käyrillä tai eri väri-aluein. Isolux-kuvaajassa on usein piirrettynä tilan kalustus ja valaisimet. Kuvaaja voidaan esittää myös 3D-muodossa. (Fagerhult 2012 - 2013, 431.)



KUVIO 1. Esimerkki isolux-kuvaajasta (Fagerhult 2012 - 2013, 431.)

#### 3.2 Luminanssi L

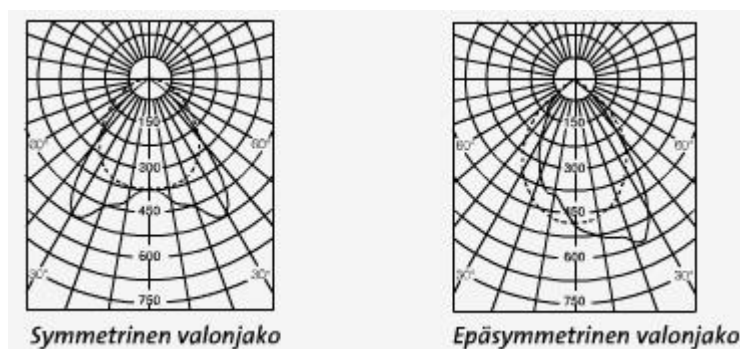
Luminanssi ilmaisee määrätyn pinnan valotiheyttä eli pinnan kirkkautta. Luminanssin voimakkuutta kuvaavaa yksikkö on kandela neliömetriä kohden ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ). Kohde näyttää sitä kirkkaammalta, mitä suurempi on pinnan luminanssi. Alhainen luminanssi haittaa näkömukavuutta ja liian korkea aiheuttaa häikäisyä. Jos luminanssi ei ole riittävän tasaista, silmät rasittuvat. (ST-kortti 58.07, 3.)

#### 3.3 Valaistusvoimakkuus E

Valaistusvoimakkuus on suure, joka määrittää tietylle pinnalle kohdistuvan valon määrän. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on luxi (lx). Valaistusvoimakkuuden suuruus on yksi valaistuksen laatua kuvaavista tekijöistä. Sisävalaistuksen arvot vaihtelevat yleisesti 100 - 1000 lx. (ST-kortti 58.07, 2.)

### 3.4 Valonjakokäyrä

Valonjakokäyrällä kuviossa 2 ilmaistaan valaisimesta lähtevän valovoiman suuntautumista. Valaisimien valonjako ilmoitetaan kandela tuhatta luumenia kohden (cd/klm). Valonjakokäyrä piirretään koordinaatistoon, jossa tarkastelu tehdään asteina valaisimeen nähden. Yhtenäinen viiva kuvaa valonlähteen pituusakseliin nähden poikittaista tasoa ja katkoviiva pituusakselin suuntaista tasoa. (Fagerhult 2012 - 2013, 431.)



KUVIO 2 Valonjakokäyrä symmetrisellä ja epäsymmetrisellä valonjaolla (Fagerhult 2012 - 2013, 431.)

### 3.5 Valotehokkuus $\eta$

Valonlähteen valotehokkuudella kuvataan valonlähteen säteilemän valovirran suhdetta kulutettuun sähkötehoon. Valotehokkuuden yksikkö on luumenia wattia kohden (lm/W). (Fagerhult 2012 - 2013, 432.)

### 3.6 Valovirta $\Phi$

Valovirta kuvaa valonlähteen valontuottamista. Valovirran yksikkö on lumen (lm). (Fagerhult 2012 - 2013, 429.)

### 3.7 Valovoima I

Valovoimalla kuvataan valonlähteestä tiettyyn suuntaa lähtevää valonmäärää. Valovoiman avulla pystytään ilmaisemaan valaisimien valonjakokäyrä. Valovoiman yksikkö on kandela (cd). (Fagerhult 2012 - 2013, 429.)

### 3.8 Värilämpötila K

Värilämpötila ilmoittaa valon värisävyn Kelvin asteikolla (K). Asteikolla arvot alle 3300 K koetaan lämpimiksi, neutraalin valkoisiksi välillä 3300 – 5300 K ja yli 5300 K:n arvot viileäsävyisiksi. Lamppujen värilämpötilat vaihtelevat 2700 – 6500 K. (ST-kortti 58.07, 3.)

### 3.9 Värintoistoindeksi $R_a$

Värintoistoindeksi on mitta-asteikko, jolla mitataan valonlähteen keskimääräisen värintoiston poikkeavuutta vertailulähteen värintoistosta. Tällä tarkoitetaan valonlähteen kykyä toistaa värejä. Indeksien maksimiarvo on 100, sisävalaistuksen tulisi olla yli 80 ja hyvän värintoiston edellyttäessä yli 90. (ST-kortti 58.07, 3 - 4.)

## 4 VALAISIMET

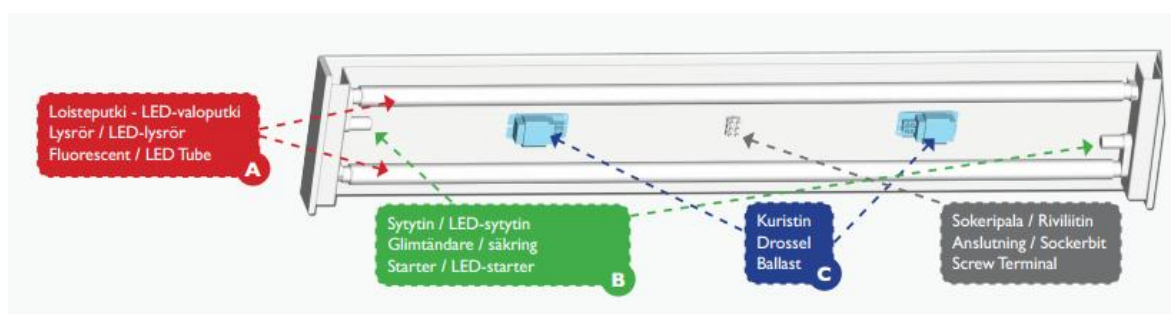
### 4.1 Valaisimien rakenne

Valaisimien rakenne koostuu rungosta, häikäisysuojasta, heijastimesta ja valonlähteestä. Valonlähde tuottaa valaisimen valon, häikäisysuojalla estetään suoraan näkeminen valonlähteeseen ja heijastimella ohjataan valo tehokkaasti valonlähteestä valaisinta ympäröivään tilaan. (ST-kortti 58.04, 8.) Häikäisysuojakulman valintaan vaikuttaa lampun luminanssi (taulukko 5, sivu 25).

### 4.2 Loistelamput

Loistelamppujen toiminta perustuu elektronisiin sähköpurkauksiin. Loisteputken sisällä käytetään täytekaasuna elohopeahöyryä. Kytettäessä sähkövirta lamppuun syntyy sähköpurkaus, jolloin elohopeahöyryn atomit virittyvät. Virityksen purkautuessa syntyy ultraviolettisäteilyä, jolloin lampun sisäpinnalla oleva loisteainekerros synnyttää näkyvää valoa. (ST-kortti 58.08, 5.)

Loistelamppuja käytettäessä käytetään myös virranrajoittimia. Virtaa rajoitetaan magneettisilla kuristimilla, sytyttimillä tai elektronisella liitäntälaitteella. Yleisimmät loistelamput ovat malliltaan T8-lamppuja (26 mm halkaisija) ja T5-lamppuja (16 mm halkaisija). T5-lamppuja käytetään ainoastaan elektronisen liitäntälaitteen kanssa. (ST-kortti 58.08, 5.) Loisteputkivalaisimen komponentit näkyvät kuvassa 1.



KUVA 1. Loisteputkivalaisimen komponentit (Valtavalo 2014 a.)

Loistelamput soveltuvat huonosti kylmiin olosuhteisiin. Kylmässä lämpötilassa lamput syttyvät huonosti ja valontuotto jää alhaiseksi. Lampun lämmetessä valontuotto kasvaa. T5-lamppujen elektroniset liitäntälaitteet soveltuvat huonosti kylmiin olosuhteisiin. Liitäntälaitteet vaurioituvat myös liian korkeasta lämpötilasta. Lamppujen valovirta alkaa laskea lämpötilan noustessa 40 asteeseen. Loistelamppuja on myös erikoisvalmisteisina vaativiin olosuhteisiin. (ST-kortti 58.08, 5 - 6.)

Loistelamppuja saadaan värilämpötilaltaan 2700 - 6500 K väliltä. Lamppujen väriominaisuuksiin vaikuttaa lampuissa käytettävä loisteaine. Värilämpötilan parantuessa usein loistelamppujen valontuotto heikentyy. (ST-kortti 58.08, 6.)

Loistelamppujen käyttöiät vaihtelevat 10 000 – 70 000 tuntiin. Kuristimella varustettujen valaisimien loistelamppujen käyttöikään vaikuttaa niiden sytyttäminen ja sammuttaminen. Valmistajien ilmoittamiin polttoikiin sisältyy kolmentunnin polttoajanjaksoon yksi 15 minuutin sammutusjakso. Sytytys- ja sammutusvälit eivät vaikuta elektronisella liitälaitteella varustettujen T5-loisteputkien käyttöikään. (ST-kortti 58.08, 6.)

Loistelamput sisältävät elohopeaa ja muita raskasmetalleja, joten ne luokitellaan ongelmajätteeksi. Loistelamppujen hintaan sisältyy SER-kierrätysmaksu, eli laitteen valmistaja sitoutuu maksamaan tuotteen jätteenkäsittelymaksun. Kuluttaja saa siis palauttaa ostamansa loistelamput ilmaiseksi SER-kierrätyspisteisiin. (ST-kortti 58.08, 6.)

#### 4.3 LED-tekniikka

LED (Light Emitting Diode) tarkoittaa valoa säteilevää diodia, toiselta nimeltään loistediodia. LED perustuu puolijohdetekniikkaan. Tarkemmin sanottuna puolijohde sisältää kaksi aluetta, n-alueen ja p-alueen. N-alueella on ylimääräisiä elektroneja, p-alueelta elektroneja puuttuu. Kun LED kytketään tasavirtalähteeseen, alkaa näiden kahden alueen elektroniepätasapaino tasoittua saaden aikaan alueiden rajapintaan syntyvää valoa. Rajapintaa kutsutaan pn-liitokseksi. Puolijohteen kykyä alkaa säteillä valoa sähkövirran vaikutuksesta kutsutaan elektroluminenssiksi. LED:n aikaansaama valonväri riippuu valmistukseen käytetyistä materiaaleista. LED:t voidaan liittää piirikorttiin yksittäisinä siruina tai kokoamalla tiiviiksi ryhmäksi samalle piirikortille. Samalle piirilevylle koottua tiivistä LED-ryhmää kutsutaan LED-moduuliksi. (Fagerhult 2012 - 2013, 504 - 505.)

Teho-LED:t ovat yli 1 W:n tehoisia, ja millä saadaan valotehoa jopa 1000 lm. LED-valaisin valmistetaan kytkemällä runkoon useita teho-LED:jä. (ST-kortti 57.52, 5.) LED:jä voidaan käyttää itsessään valaisuun, mutta useimmiten niistä rakennetaan käyttötarkoitukseen sopiva tuote, esimerkiksi LED-lamppu. LED-lamppujen ominaisuuksien (valotehokkuus, värintoistokyky ja toimintavarmuus) kehittyminen on lisännyt niiden käyttöä osana yleisvalaistusta. (ST-kortti 58.08, 10.)

LED-valaisimissa on usein kiinteästi asennettu LED-valonlähde. Kalusteisiin asennettavia LED-valonlähteitä ostaessa tulee huomioida niiden käyttötarkoitus, liitälaitteen yhteensopivuus ohjaimiin ja erilaiset ohjauksen mahdollisuudet. Kalusteisiin asennettavissa LED-valaisimissa on oltava erityisen tarkkana lämpöpolun toteutuksen suhteen. (ST-kortti 57.52, 5.)

RGB-LED koostuu kolmesta pääväristä; punaisesta, vihreästä ja sinisestä. Jokaisella värillä on oma puolijohteensa. Näitä kolmea valoa yhdistämällä saadaan aikaan valkoista valoa. RGB-LED:n etuna on, että siitä saadaan ohjauksella eri väri sekoituksia. RGB-LED:n valotehoon vaikuttaa väri, jota sillä hetkellä toistetaan. Esimerkiksi toistaessa punaista valoa palaa vain yksi LED. (ST-kortti 57.52, 5.)

#### 4.3.1 LED-liitäntälaitteet

Liitäntälaitte muuntaa verkkovirran (230 VAC) LED:lle sopivaksi tasavirraksi (DC). LED-valonlähde tarvitsee aina toimiakseen liitäntälaitteen. Liitäntälaitte voi olla yksinkertaisimmillaan vastus, joka rajoittaa virtaa. (St-kortti 57.52, 5.) Muunnettava jännite riippuu LED:ien lukumäärästä. Jokaisella LED:illä on oma kynnysjännitteensä ja kertomalla lukumäärän kynnysjännitteellä saadaan vaadittu jännitetaso laskettua. (Fagerhult 2012 - 2013, 504 - 505.) Kynnysjännitteellä tarkoitetaan jännitearvoa, jolla LED:n läpi alkaa kulkea virtaa (Hutasu).

#### 4.3.2 LED-ohjaus

LED:jä voidaan ohjata yksinkertaisimmillaan silloin, kun käyttösähkö tuodaan liitäntälaitteen kautta valonlähteelle. Tällöin liitäntälaitte toimii kytkimenä eli ohjaimena. Ohjaimella voidaan kytkinominaisuuden lisäksi säätää LED:ien kirkkautta ja värisävyjä. Ohjaimella voidaan huomioida aikatauluja ja liiketunnistimien avulla tiloissa tapahtuvaa liikehdintää. Ohjaus voidaan toteuttaa myös internetin kautta. Ohjauksen avulla saadaan tasainen valontuotto LED:iin. (ST-kortti 57.52, 6.)

LED:jä voidaan ohjata väyläsovelluksilla tai liitäntälaitteen jännitettä säätämällä. LED-yhteensopiva väyläsovellus on esimerkiksi DALI. Liitäntälaitteiden tai väylälaitteiden avulla on tärkeää ohjata yksittäistä LED:iä. Näin järjestelmä on tehokkaampi ja monitoimisempi. Väylä toimii kaksisuuntaisesti, joten itse laitteiden tuottama informaatio voidaan hyödyntää. Tällöin ohjain voi korjata tai säätää liitäntälaitteen ilmoittamat valaisimilta tulleet virhetilat. (ST-kortti 57.52, 6.)

LED:ien himmentäminen tapahtuu ohjaimen kautta liitäntälaitteella. Liitäntälaitteella taajuutta pulssitetaan 10 - 20 kertaiseksi sähkövirran taajuuteen nähden. LED:in himmentäminen onnistuu pulssinleveyttä muuttamalla eikä se vaikuta LED:in elinikään. Pulssittamalla valoa voidaan lähettää tietoa, esimerkkinä tästä on infrapunakaukosäädin. Säädettävää vakiovirtalähdettä suositellaan käytettäväksi LED:ejä himmennettäessä. LED:it ovat tarkkoja säätää lineaarisella liitäntälaitteen säätimellä, joilla saadaan se reagoimaan jopa yhden promillen ohjausmuutoksiin. (ST-kortti 57.52, 7.)

#### 4.3.3 LED-valonlähteen ominaisuudet

LED:in paremmuus muihin valonlähteisiin nähden perustuu valotehokkuuteen (St-kortti 57.52, 2). Valotehokkuutta kuvataan LED:lle lm/W. Yleensä ledien valmistajien ilmoittama valotehokkuuden arvo on kylmän ledin maksimivalotehon arvo. Lämpötilan kohoaminen aiheuttaa tehohäviöitä. Myös

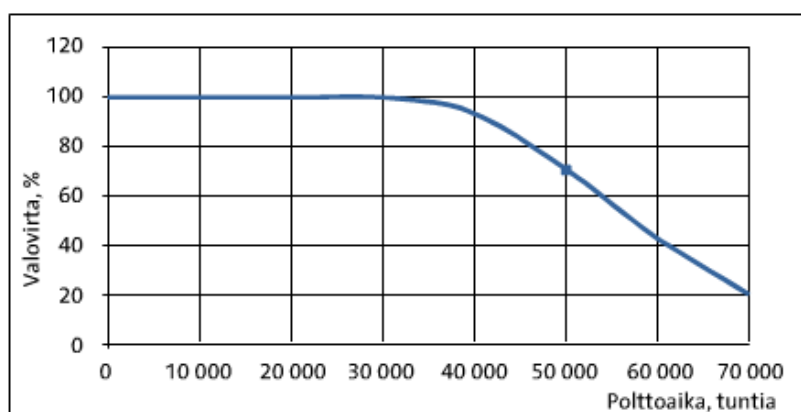
linssien- tai heijastimien käyttö aiheuttaa tehohäviöitä. Valmistajien ilmoittama valotehokkuus arvo ei myöskään ota huomioon muuntajan häviöitä. (Fagerhult 2012 - 2013, 504 - 506.) Taulukosta 1 ilmenee erivalonlähteiden ominaisuudet, soveltuvat käyttötilat ja säädettävyys. LED:ien etuina taulukon pohjalta voidaan mainita sen nopea syttyminen, himmennettävyys, elinikä, valotehokkuus ja soveltuvuus kylmiin tiloihin. Taulukosta ilmenee, että LED ei sovellu kuumissa tiloissa käytettäväksi. (Taulukko 1).

TAULUKKO 1. Erivalonlähteiden ominaisuuksia. (ST-kortti 58.04, 9.)

Valonlähteen nimitys	Elinikä (h)	lm/W	Syttyminen	Kylmät tilat	Kuumat tilat	Himentäminen
Hehkulamppu 60 W	1 000	12	heti	OK	OK	helppoa
Perus-T5-loistelamppu 35 W	19–24 000	104	nopea	ei	ei	mahdollista
PL-lamppu 18 W, GX24q-2-kanta	13 000	66	nopea	ei	ei	ei
Halogeenilamppu 40 W, G9-kanta	2 000	12	heti	OK	OK	helppoa
Monimetallilamppu 35 W, G12	12 000	94	hidas	OK	OK	usemmiten ei
Led	20–70 000	50–110	heti	OK	ei	mahdollista

Valotehokkuuden lisäksi LED:llä on hyvät värintoistokyky- ja värilämpötila-ominaisuudet. LED-värilämpötilaa saadaan säädettyä, joten se tuo etuja muihin valonlähteisiin nähden. LED:n värilämpötilan säätö tapahtuu liitäntälaitteella ja ohjaimella saaden arvoja väliltä 900 – 20 000 K. LED:llä saadaan jopa 90 - 97 värintoistoindeksi. LED-valonlähteillä voidaan tuottaa myös infrapuna- ja ultraviolettivaloa. (ST-kortti 57.52, 1-3.)

LED-valaisimien käyttöikä on erittäin pitkä, keskimäärin 50 000 tuntia. LED:it rikkoutuvat harvoin, mutta niiden valovirta heikkenee ajan myötä. LED:ien käyttöikä määritetään valovirran alentuessa 70 %:iin alkuperäisestä. Käyttöikään vaikuttaa myös kuormitus, asennusympäristö ja muuntaja. (Fagerhult 2012 - 2013, 505.) Kuvio 3 kuvaa valaisimen käyttöikää ja siihen on merkitty pisteellä 70 % valovirta-arvo, kun polttoaika on ollut 50 000 tuntia. Valaisimen elinikä merkitään tässä tapauksessa  $L_{70}=50\,000$  tuntia. Saavutettuaan käyttöiän  $L_{70}$  toimii LED vielä, mutta sen valovirta heikentyy huomattavasti kuten kuvio osoittaa. (Kuvio 3.)

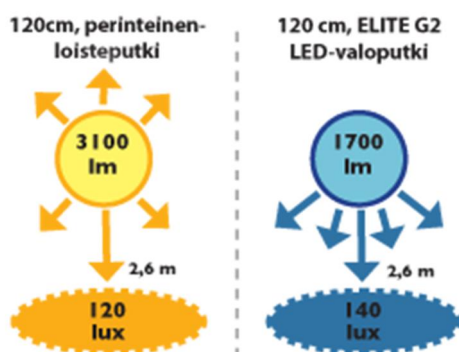


KUVIO 3. Käyttötuntien vaikutus valovirtaan (Fagerhult 2012 - 2013, 505.)

#### 4.3.4 LED:ien valonjako

LED:ien valonjakoon vaikuttaa niiden sijoittelu, asennot ja käytetyt lisävarusteet. Yksittäisen LED-valonlähteen valonjaon toteuttaminen onnistuu parhaiten linssillä, joka on yleensä asennettu kiinteästi sirun päälle. Linssien avauskulma vaihtelee 2 - 180 astetta valmistajan mukaan. Valonjako voidaan toteuttaa myös muovielementillä. (ST-kortti 57.52, 3.)

LED-valoputken ja perinteisen loisteputken valonjakautumiseroja havainnollistetaan kuvassa 2. Kuvassa verrataan perinteistä ympärisäteilevää loisteputkea ja Valtavalon valmistamaa Elite G2 LED-valoputkea, jotka ovat samanmittaisia. Valonlähteet on asennettu kuvassa 2,6 metrin asennuskorkeuteen. LED-valoputki tuottaa 1700 lm valovirran ja loisteputki 3100 lm valovirran. Tällöin valaistusvoimakkuudeksi maanpinnalla saadaan LED-valoputkella valaistessa 140 lx ja loisteputkella valaistessa 120 lx. Kuvan 3 LED-valoputki säteilee noin 150 astetta, kun loisteputki säteilee 360 astetta. Loisteputken valaistusta saadaan myös suunnattua käytettäessä linssijä tai heijastimia, mutta ne aiheuttavat häviöitä valotehokkuudessa. (Valtavallo 2014 b.)



KUVA 2. Loisteputken ja LED-valoputken valonjakautuminen (Valtavallo 2014 b.)

#### 4.3.5 Valonlähteen korvaaminen LED-valonlähteellä

EuP-direktiivin vaikutuksesta markkinoille on tullut LED-lamppuja, jotka korvaavat muut valonlähteet (ST-kortti 58.08, 10). EuP-direktiivistä löytyy lisätietoa tarkemmin osiossa 5.3. Korvattavia valonlähteitä ovat esimerkiksi hehku- ja halogeenilamput. Syynä korvaamiseen on energiankulutus, joka on LED-valaisimilla 5 – 10 % korvattaviin valonlähteisiin nähden. Toinen syy LED-valonlähteen vaihtamiseen on sen pitkäikäisyys. (ST-kortti 58.08, 10.)

Korvattaessa toinen valonlähde LED-valaisimella tulee olla tarkkana lämpöpolun kanssa. LED-valonlähteissä on tärkeää, että lämpö saadaan siirrettyä pois LED:eistä. LED:it voidaan jäähdyttää ympärillä olevalla viileällä ilmalla tai LED:ien tuottama lämpö voidaan siirtää ilmaan. Korvattaessa esimerkiksi E27-kantainen hehkulamput tulee ottaa huomioon onko kanta metallia vai muovia. LED-lamput siirtävät lämmön pois valonlähteestä metallikannan kautta. Muovikannallisessa valaisimessa



lämmönjohtavuus ei ole riittävää, kun käytetään LED-lamppua, jossa lämmönsiirto on tarkoitettu kannan kautta pois siirrettäväksi. LED-lampun jäähdytys voidaan kuitenkin toteuttaa jäähdytyselementillä, joka on osa lampun runkoa. (ST-kortti 57.52, 5.) Vaihdettaessa halogeenilampun tilalle korvaava LED-lamppu on tämä korvaava lamppu varustettu useimmiten erilaisella alumiiniosalla LED:ien jäähdyttämiseksi. Tämä vaikuttaa valaisimen ilmeeseen siten, että itse lamppu on paljon tummempi. (ST-kortti 58.08, 10.)

Lämmönsiirrettävyyden lisäksi ongelmaksi voi tulla myös liitäntälaitte. Jos liitäntälaitte on yksinkertainen, LED-valonlähteen kaikkia etuja ei saada käyttöön. Ongelmaksi voi muodostua myös tuotetun valon sopimattomuus runkoon, esimerkiksi kun hehkulampun tilalle vaihdetaan LED-lamppu. Valon sopimattomuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä valonjaon käyttäytymistä. Tämän vuoksi LED-lampun sopivuus ohjaimeen tulee varmistaa. (ST-kortti 57.52, 5.)

#### 4.3.6 Loisteputken korvaaminen LED-valoputkella

LED-valoputket ovat jo muutaman vuoden korvanneet perinteisiä loisteputkilamppuja energiatehokkaana ja ylläpidoltaan edullisena vaihtoehtona. Ensimmäiset korvaavat LED-valoputket olivat Turvalisuus- ja kemikaalivirasto eli Tukes:n tekemien testauksien perusteella vaarallisia ja niitä asennettaessa oli sähköiskun vaara. Testatuissa LED-valoputkissa sähköiskunvaara ilmeni asennusvaiheessa kosketettaessa lampun toisen pään paljaita koskettimia, kun lampun toinen pää oli kiinni lampunpitiessä. (Tukes 2010.)

LED-valoputket korvaavat pääasiassa G13 (G5) -kantaisissa valaisimissa T8 (T5) -loisteputket. LED-valoputkiasennukset on tehtävä ohjeiden mukaisesti huomioimalla turvallisuus ja sähkömagneettinen yhteensopivuus. Asennettavien LED-valoputkien on oltava turvallisia ja asennukset on tehtävä ohjeiden mukaisesti. Korvaavia LED-valoputkia on pääasiassa kahta tyyppiä, Retrofit LED -valoputkia ja LED-valoputki -muutossarjoja (conversion kits). (Tukes 2013.)

##### 4.3.6.1 Retrofit LED -valoputket

Retrofit LED -valoputket voidaan asentaa loisteputkivalaisimiin ilman, että alkuperäisvalaisimeen tehdään muutostöitä. Tällaiset asennukset rinnastetaan ylläpitotyöksi. Retrofit LED -valoputki asennuksiin soveltuvissa valaisimissa on magneettinen virranrajoitin eli kuristin. Retrofit-asennuksissa sytytin pitää korvata oikosulkupalalla eli LED-sytyttimellä. (Tukes 2013.)

Retrofit LED -valoputken tulee olla lainsäädännön mukainen turvallisuuden ja sähkömagneettisen yhteensopivuuden takaamiseksi. LED-valoputkessa tulee olla CE-merkki vakuutena siitä, että direktiivin mukaiset vaatimukset täyttyvät. Retrofit LED -valoputkille ei ole vielä turvallisuutta koskevaa IEC standardia eikä EN standardia. Tästä syystä valmistajat joutuvat soveltamaan voimassa olevia LED-lamppu- ja valaisinstandardeja turvallisuuden takaamiseksi. Retrofit LED -valoputken tulee olla painon, ulkoisten mittojen, putken käyttölämpötilan ja useiden sähkömagneettisten ominaisuuksien

suhteen vastaava kuin standardinmukaisissa loisteputkivalaisimissa käytettävät loisteputket. (Tukes 2013.)

Ohjeiden mukaisesti asennettujen Retrofit LED -valaisimien jälkeisissä turvallisuusriskeissä tai sähkömagneettisissa häiriöissä on vastuu talouden toimijalla. Tässä tapauksessa tarkoitetaan valmistajaa, maahantuojaa ja jakelijaa, jotka ovat asettaneet Retrofit LED -valoputket saataville markkinoille. Retrofit-asennus ei poista alkuperäisen loisteputkivalaisimen CE-merkintää eikä muita sertifiointimerkintöjä. Valaisimesta voidaan tehdä uudelleen loisteputkivalaisin vaihtamalla LED-sytyttimen tilalle loisteputki sytytin. (Tukes 2013.)

#### 4.3.6.2 Muutossarjat (Conversion kits)

Muutostöitä joudutaan tekemään, kun asennetaan LED-valoputki -muutossarjoja. Muutossarjat sisältävät kaikki tarvittavat komponentit, esimerkiksi liitäntälaitteet, ohjauselektroniikan, lampun pitimet ja johdotuksen. Muutossarjojen kanssa tulee toimittaa myös yksityiskohtaiset asennus- ja testausohjeet. Valaisimen rakenteen muuttuessa vastuu tuotteen turvallisuudesta ja ominaisuuksista poistuu alkuperäiseltä valmistajalta. Rakenteen muuttuessa myös arvokilpi, CE-merkintä ja muut sertifiointimerkinnät eivät ole enää voimassa. (Tukes 2013.)

Muutossarjan toimittaja vastaa ohjeiden mukaisesti asennetun valaisimen turvallisuudesta ja sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta LED-valoputkivalaisimessa. Muutostyön seurauksena valaisimen turvallisuus ei saa heikentyä. Valaisimen turvallisuuden tulee muutostyön jälkeen säilyä, vaikka siihen asennettaisiin vahingossa T-tyyppinen loisteputki. Jos ohjeita ei noudateta muutostöissä, niin muutossarjan valmistajan vastuu raukeaa. (Tukes 2013.)

LED-valoputkimuutossarjan myyjän antamissa ohjeissa tulee olla tieto valaisintyypeistä, jotka soveltuvat muutostyöhön. Ohjeissa tulee mainita selvästi, että muutostyön voi tehdä vain sähköalan ammattilainen ja muutettuun valaisimeen tulee laittaa merkintä tai varoitus LED-valoputkikäyttöön muuttamisesta. (Tukes 2013.)

## 5 VALAISTUSSUUNNITTELU

### 5.1 Työtilan valaistussuunnittelu

Laadukkaalla valaistuksella tarkoitetaan vaivatonta näkemistä oleskelutilassa tai työskentelyympäristössä. Oikeanlaisen valon avulla luodaan mieluisa näköympäristö, jossa näkeminen on helppoa. Riittämättömällä valaistuksella vaikeutetaan näkemistä, joten työtehokkuuden kannalta on tärkeää oikeanlainen valaistus. Oikeanlainen valaistus saavutetaan, kun otetaan huomioon valotekniset laatutekijät, kuten valaistusvoimakkuus, luminanssi, häikäisy, muodonanto, värintoisto ja värielämytila. (ST-kortti 58.04, 1 - 7.) Työtilojen valaistussuunnittelussa tulee huomioida työtehtäväkohtaiset vaatimukset, käyttäjien ja omistajien vaatimukset sekä standardien vaatimukset (ST-kortti 58.04, 12).

Uusi valaistus on syytä suunnitella huolellisesti oikeanlaisen valaistuksen takaamiseksi. Nykyisin valaistussuunnittelussa käytetään apuna erilaisia tietokoneohjelmistoja. Suosituin Suomessa käytettävä valaistuslaskentaohjelma on DIALux-ohjelma. DIALux on suosittu, koska se on ilmainen ja siihen voidaan syöttää valaisintietokantoja eri valaisinvalmistajilta. (ST 58.03, 1.)

#### 5.1.1 Sisätyötilan valaistussuunnittelu

Sisätyötilan valaistussuunnittelussa määritetään laskenta-alue, jolta tuloksia tarkastellaan. Tavallisesti valaistussuunnittelulaskelmat tehdään koko huoneen alalle, mutta tarkastelu voidaan tehdä myös vain osalle huonetta. Tällöin tilan laskelmatuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon muun huoneen vaikutus. Laskentaohjelmilla saadaan laskentapisteen määrää muutettua. Laskentapisteen määrää kasvattamalla saadaan tarkempi tulos, mutta samalla laskenta-aika kasvaa. Laskentapistekuuden yleinen pisteväli on 0,25 - 0,5 m. (ST 58.03, 3.)

Laskettavan huoneen geometria määritetään tarkasti esimerkiksi pohjapiirustuksen avulla. Tilaan mallinnetaan elementit, kuten pylväät, pilarit ja kaltevuudet. Kiinteä kalustus, kuten kaapit, tulee myös mallintaa. Päivänvalon huomioimiseksi tilaan on syytä sijoittaa myös ikkunat paikoilleen. (ST 58.03, 3.)

Tarkasteltavan pinnan valaistusvoimakkuus muodostuu suorasta ja epäsuorasta valaistuksesta (ST 58.03, 2). Suora valaistus on valaistusta, joka suuntautuu 90 – 100 % valaisimesta alaspäin. Epäsuoralla valaistuksella tarkoitetaan valaistusta, jossa valaisimen valovirrasta yli 90 % suunnataan huonetilan heijastuspintojen kautta halutulle alueelle. (ST-kortti 58.04, 2 - 3.) Valaistukseen vaikuttaa valaisimen valonjako-ominaisuuksien lisäksi pintojen heijastumissuhteet. Jos tilassa on paljon epäsuoraa valaistusta, on tärkeää käyttää mahdollisimman todenmukaisia heijastussuhteita. Yleisesti heijastussuhteille on oletusarvot, jotka soveltuvat perustapausten laskentaan. Esimerkiksi koivupuu-pinnan heijastussuhde on 50 – 60 % ja punatiilipinnan 10 – 20 %. (ST 58.03, 2 - 3)

Häikäisyindeksin laskemiseksi työalueille sijoitetaan UGR-indeksin laskentapisteet normaalin työasennon korkeuteen. Häikäisyn laskemiseksi on syytä huomioida myös katselusuunnat. (ST 58.03, 3.)

### 5.1.2 Valaisimien sijoittaminen

Valaisimien sijoittaminen kannattaa aloittaa kaksiulotteisessa x - y -tasossa, minkä jälkeen valaisimelle määritetään kolmiulotteisessa x - y- z -tasossa korkeus. Valaisimen korko määritetään korkeutena lattiasta tai ripustuskorkeutena katosta. Valaisimen aseman lisäksi on tärkeää suunnata valaisin oikein, jos ei ole kyseessä valonjaoltaan symmetrinen valaisin. Tyypillinen suunnattava valaisin on loistevalaisin epäsymmetrisellä valonjaolla. Valaisimet voidaan sijoittaa laskentaohjelmilla ryhmissä. Tällöin on syytä huomioida, että kaikki ryhmän valaisimet suuntautuvat samalla tavalla. (ST 58.03, 3.)

### 5.1.3 Valaistuksen huolto

Alenemakertoimella varmistetaan valaistuksen riittävyys koko aikavälille ennen lampun vaihtoa. Alenemakerroin kuvaakin tarvetta ylivoimaisesti valaistusjärjestelmä, jotta valaistus pysyy vaatimuksien mukaisena. Sopiva alenemakerroin määritetään julkaisun CIE 97:2005 mukaan seuraavasti:

$$AK = LVK \times LEK \times VHK \times HHK \quad (1)$$

jossa

- AK on alenemakerroin
- LVK on lampun valontuoton häviökerroin
- LEK on lampun elinikäkerroin
- VHK on valaisimen häviökerroin
- HHK on huonepintojen häviökerroin.

Lampun kertoimet (LVK ja LEK) ovat lamppukohtaisia, ja ne määräävät lamppujen vaihdon ajankohdan. Usein lamppujen vaihtaminen toteutetaan vaihtamalla kaikki kerralla, ennalta laaditun suunnitelman mukaisesti. (ST-kortti 58.04, 11.)

Standardi antaa valaisimen häviökertoimille taulukon valaisinrakennetyypin mukaan. Huonepintojen häviökertoimen määrittävät tilan puhtaus, valaistustapa ja huoltoväli. Tuloksena saatua AK kerrointa käytetään laskennan alenemakertoimena. (ST 58.03, 4.)

Valaisimien pudistus on tärkeää. Puhtaiden tilojen puhdistusväliksi CIE 97:2005 suosittelee 3 vuotta (koulut, toimistot), normaalisti likaantuvilla tiloilla (varastot, kokoonpanoteollisuus) 2 vuotta ja likais-

ten tilojen (terästeollisuus, hitaus) yhden vuoden väliä. Valaisimen puhdistusväli määrittää VHK-kertoimen. (ST-kortti 58.04, 11.)

#### 5.1.4 Päivänvalon vaikutus

Koska päivänvalon voimakkuuteen vaikuttaa vuodenaika, kellonaika ja sää, valaistusjärjestelmät on mitoitettava huonoimman tilanteen mukaisesti. Päiväsaikaan ikkunoiden läpi huoneeseen tulee valoa, mutta illan pimeällä valoa poistuu ikkunoiden kautta. Ikkunoiden ja päivänvalon hyödyntäminen onkin tärkeää valaistuksenohjausta suunniteltaessa. (ST 58.03, 4.)

#### 5.1.5 Kalusteiden vaikutus

Valaistuksen tulee olla työpisteellä standardin EN 12464-1 mukainen. Jotta työpisteen valaistusvoimakkuudet saadaan todelliseksi, on syytä ottaa huomioon kalusteet. Ongelmana voi olla vähäinen tieto kalusteiden sijainnista ja niiden mahdollisesta sijainnin vaihtamisista. Siksi esimerkiksi toimistojen valaistuksen täytyisi olla helposti muokattavissa, jotta valoa saadaan sinne missä sitä tarvitaan.

Tehtaässä kalustamattomien huoneiden valaistuslaskelmia, laskelmiin sisältyy pieni virhemahdollisuus. Huoneen kalustamisella saadaan heijastavia pintoja, mutta myös valon kulkua rajoittavia pintoja. Pinnat vaikuttavat keskimääräiseen valaistusvoimakkuuteen sekä valonjakautumiseen. Tästä syystä kalustamattomilla tiloilla tehdyissä laskelmissa tulee helposti alimitoitettu valaistus. Esimerkiksi avotoimistoissa, joissa työpisteeseen sisältyy hyllyjä ja seinäkkeitä, voidaan saada kalustamattomissa laskelmissa 25 – 30 % alimitoitus. Tärkeä on kuitenkin muistaa, että standardi koskee työpisteen aluetta, ei koko tilaa. (ST 58.03, 4.)

#### 5.1.6 Laskentatuloksien tulkinta

Valaistuslaskentaohjelmat laskevat suoraa valoa perustuen pistemenetelmään ja valaisimien valonjakokäyriin. Laskentaohjelmilla on tärkeää todenmukainen heijastavien pintojen heijastuskertoimen määrittely, sillä tulos muuttuu paljon, kun käytetään epäsuoraa valaistusta ja heijastuskerrointa muutetaan. (ST 58.03, 4.)

Toinen valaistuslaskennan epävarmuustekijä on alenemakerroin. Alenemakertoimen tulee käyttää standardeissakin viitattua alenemakertoimen laskutapaa. Käyttämällä kaikissa tiloissa alenemakerrointa 0,8 (vakio) virheet kasvavat suuriksi. Esimerkiksi likaisissa teollisuustiloissa muilla kuin loistelampuilla toimivan valaistusjärjestelmän alenemakerroin saattaa jäädä alle 0,6:n. (ST 58.03, 4.)

Kolmas epävarmuuteen vaikuttava seikka on toimintaolosuhteet, joilla tarkoitetaan etenkin lämpötilan vaikutusta. Usein lamppujen valmistajat antavat tiedot lamppujen valovirran vaihtelusta lämpöti-

lan mukaan. Jos olosuhteet poikkeavat normaalista, joudutaan ohjelmassa valovirran oletusarvoa muuttamaan. (ST 58.03, 5.)

## 5.2 Sisävalaistusstandardit

Opinnäytetyön kannalta oleelliset standardit ovat:

- SFS-EN 15193 Rakennusten energiatehokkuus, Valaistuksen energiatehokkuus. Käsittelee lähinnä LENI-lukua. Käsitellään tarkemmin osiossa 6.2.1.
- SFS-EN 12464-1:2011 Sisätilojen työkohteiden valaistus.

SFS-EN 12464-1 Sisävalaistuksen laatuvaatimukset:

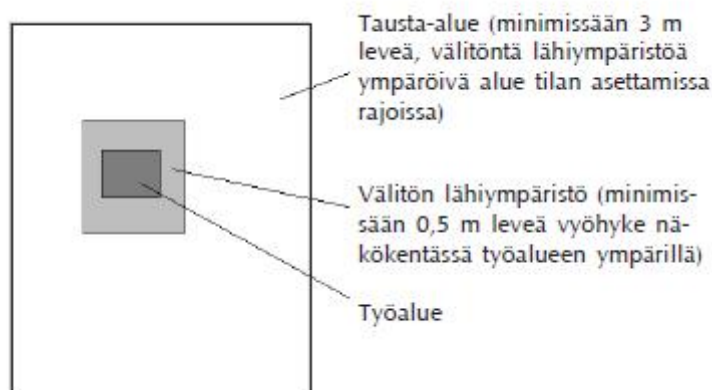
Sisävalaistusstandardi SFS-EN12464-1 määrittää arvovaatimuksia valaistukselle sisätyötiloissa. Vaatimukset koskevat valaistusvoimakkuutta, valaistusvoimakkuuden tasaisuutta ja häikäisyä kuvaavaa UGR- indeksia. Sisävalaistusstandardi uudistui vuonna 2011. (ST 58.03, 1.) Standardi EN-12464-1 määrittelee tilakohtaiset ohjeet taulukon 2 mukaisesti valaistusvoimakkuudelle, kiusahäikäisylle, yleistasaisuudelle ja värintoistolle (ST-kortti 58.02, 2).

TAULUKKO 2. Toimistotilojen tilakohtaisia raja-arvoja standardista SFS-EN 12464-1 (ST-kortti 58.02, 6.)

Tila, tehtävä tai toiminta	$E_m$ lx	UGR	$U_o$	Ra	Erityisvaatimukset
Arkistointi, kopiointi jne.	300	19	0,4	80	
Kirjoittaminen, konekirjoitus, lukeminen, tietojenkäsittely	500	19	0,6	80	Tietokonenäytöt
Tekninen piirtäminen	750	16	0,7	80	
CAD-työasemat	500	19	0,6	80	Tietokonenäytöt
Neuvottelu- ja kokoushuoneet	500	19	0,6	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
Vastaanottotiski	300	22	0,6	80	
Arkistot	200	25	0,4	80	

### 5.2.1 Valaistusvoimakkuuden laskenta ja tasaisuus

Valaistusvoimakkuudelle standardissa SFS-EN 12464-1 määritetyt arvot ovat vanhan asennuksen arvoja, eli niissä on otettu huomioon lamppujen valovirran aleneminen ja likaantuminen. Standardissa annetut tilakohtaiset valaistusvoimakkuusvaatimukset tarkoittavat työalueen valaistusvoimakkuutta eivätkä koko tilan valaistusvoimakkuutta. Työalueen koko ja sijainti tulee dokumentoida. Työalueella valaistusvoimakkuuden tasaisuuden arvon  $U_o$  tulisi vaihdella tilan mukaan välillä 0,4 - 0,7. Jos työalueen kokoa tai sijaintia tilassa ei tunneta, koko tila luokitellaan työalueeksi. Tällöin suunnittelija määrää valaistusvoimakkuuden ja tila tulee valaista tasaisesti  $U_o \geq 0,4$ . Tilan työalueen tullessa myöhemmin tunnetuksi tulee tilan valaistus suunnitella uudestaan vaadittujen valaistusolosuhteiden saavuttamiseksi. (ST-kortti 58.02, 3.)



KUVA 3. Työalueen ja ympäristön määrittely (ST-kortti 58.02, 1.)

Työalueen välittömän lähiympäristöä tai tausta-alueita ei tarvitse valaista samojen vaatimusten mukaisesti. Tiloista on myös määritettävä ja dokumentoitava välittömän lähiympäristön ja tausta-alueen koot ja sijainnit (kuva 3). Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuusvaatimus riippuu työalueen valaistusvoimakkuudesta taulukon 3 mukaisesti. Valaistusvoimakkuuden tasaisuuden vaatimus välittömällä lähiympäristöllä on  $U_0 \geq 0,4$ . (ST-kortti 58.02, 3.)

TAULUKKO 3. Työalueen valaistusvoimakkuuden vaikutus välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuusvaatimuksiin (ST-kortti 58.02, 3.)

Työalueen valaistusvoimakkuus lx	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus lx
$\geq 750$	500
500	300
300	200
200	150
$< 200$	sama vaatimus kuin työalueella

Tausta-alueen valaistusvoimakkuuden tulee olla vähintään kolmasosa välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuudesta. Valaistusvoimakkuuden tasaisuuden vaatimus tausta-alueella on  $U_0 \geq 0,1$ . (ST-kortti 58.02, 3.)

Työalueen välittömän lähiympäristön ja tausta-alueen valaistusvoimakkuuden laskennassa käytetään laskentaruudukkoa. Alueille on laadittava arviointiruudukot osoittamaan pisteet, joista valaistusvoimakkuusarvot lasketaan. Ruudukko on muodoltaan neliömäinen. Jos työalue sijaitsee yli 0,5 m:n

etäisyydellä seiniin, jätetään seinien vierukset (0,5 m) etäisyydellä laskematta. Laskentaruudukko ei saa olla samalla jaolla kuin valaisimien väliset etäisyydet. (ST-kortti 58.02, 3.)

### 5.2.2 Luminanssijakauma

Standardi EN 12464-1 määrittää tilakohtaiset valaistusvoimakkuusvaatimukset, heijastuskertoimien suositusarvot tärkeimmille heijastaville sisäpinnoille sekä suljettujen tilojen tärkeimpien pintojen yläpidettävän valaistusvoimakkuuden. Heijastussuhteiden vaihteluvälit hyvän luminanssijakauman saavuttamiseksi on annettu taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Pintojen heijastuskertoimien suositusarvot (ST-kortti 58.02, 2.)

Heijastava pinta	Heijastus %
Katto	0,7...0,9
Seinät	0,5...0,8
Tärkeimmät esineet (kalusteet)	0,2...0,7
Lattia	0,2...0,4

Suljettujen tilojen pinnoille on vaadittu seuraavat valaistusvoimakkuuden arvot:

- seinät  $E_m > 50 \text{ lx ja } U_0 \geq 0,1$
- katto  $E_m > 30 \text{ lx ja } U_0 \geq 0,1$

Toimistojen, opetustilojen, terveydenhuoltotilojen ja porrastilojen vastaavien pintojen tulee olla valaistusvoimakkuuksiltaan:

- seinät  $E_m > 75 \text{ lx ja } U_0 \geq 0,1$
- katto  $E_m > 50 \text{ lx ja } U_0 \geq 0,1$

Teollisuus- ja varastotiloissa koon, monimuotoisuuden ja toiminnallisten syiden vuoksi pintojen valaistusvoimakkuusvaatimusten täyttäminen ei ole käytännöllistä mahdollista. Siksi tiloissa sallitaan suositeltuja alemmat tasot edellä mainituilla pinnoilla. (ST-kortti 58.02, 2-3.)

### 5.2.3 Häikäisy

Häikäisyä on olemassa kahdenlaista, kiusahäikäisyä ja estohäikäisyä. Kiusahäikäisyksi kutsutaan häikäisyä, josta aiheutuu epämiellyttävä tunne ilman näkemisen heikentymistä. Estohäikäisyssä ei synny epämiellyttävää tunnetta, mutta näkeminen heikentyy. Standardi EN 12464-1 määrittää raja-arvot kiusahäikäisylle UGR-ideksillä. UGR-indeksin lukuarvon vaihteluväli on 10 - 28, jossa pienempi arvo tarkoittaa parempaa häikäisysuojausta. UGR-luku lasketaan yleensä tietokoneohjelmalla, joka



laskee valaisinvalmistajien antamien tietojen mukaisesti UGR-indeksiä. (ST-kortti 58.02, 3 - 4.)  
Toimiston UGR-lukuvaatimukset löytyvät taulukosta 2, sivulta 22.

Kirkkaiden valonlähteiden aiheuttamaa häikäisyä rajoitetaan standardin mukaisesti käyttämällä minimihäikäisysoojakulmaa luminanssin mukaan (ST-kortti 58.02, 4). Taulukko 5 esittää häikäisysoojakulman minimiarvot lamppujen luminanssin mukaan.

TAULUKKO 5. Luminanssin vaikutus häikäisysoojakulmaan (ST-kortti 58.02, 4.)

Lampun luminanssi kcd/m <sup>2</sup>	Minimihäikäisysoojakulma astetta
20...< 50	15
50...< 500	20
≥ 500	30

Taulukon 5 arvoja suurempi pintaluminanssi voidaan saavuttaa lähinnä suurpaineipurkauslampeilla, halogeenilampeilla sekä T5-loistelampeilla. Häikäisysoojan lisääminen valaisimeen on harvinaista toimistojen valaistusratkaisuissa, sillä on useimmissa toimistojen valaisimissa on suuret suojauskulmat ja lisäksi loistelamppujen luminanssi jää alle taulukon arvojen. (Suomen valoteknillinen seura ry 2008, 6.)

#### 5.2.4 Sylinterivalaistusvoimakkuus $E_z$

Sylinterivalaistusvoimakkuudella pyritään saamaan aikaan valoa, jossa on helppo hahmottaa kolmiulotteiset muodot. Kolmiulotteisten muotojen hahmottamista helpottaa varjojen syntyminen. Varjoja saadaan muodostettua valojen oikealla suuntauksella. Työskentelytiloissa on tärkeää hyvä kohteiden hahmottaminen, joka saadaan aikaiseksi riittävällä sylinterivalaistusvoimakkuudella. Standardi määrittää sisätiloille  $E_z=50$  lx tasaisuudella  $U_0 \geq 0,1$  vaakatasossa määrättyllä korkeudella. Korkeus määrittyy työskentelyn mukaisesti: istuen työtä tekeväälle henkilölle 1,2 m ja seisoen työtä tekeväälle 1,6 m. Tiloissa, joissa edellytetään hyvää visuaalista kommunikaatiota, tulee olla  $E_z$  vähintään 150 lx. Hyvää visuaalista kommunikointia edellytetään opetus-, neuvottelu- ja toimistotiloissa. (ST-kortti 58.02, 4.)

### 5.2.5 Väriominaisuudet

Suomessa työtiloihin valitaan usein lämmintä värisävyä, joka tarkoittaa alle 3300 K värilämpötilaa. Värisävyyn valintaan vaikuttaa tilan valaistusvoimakkuus ja sisustus. Hyvillä valaistuksen värintoisto-ominaisuuksilla saadaan aikaan viihtyisyyttä. Standardi antaa tilakohtaiset vaatimukset värintoisto-ominaisuuksille värintoistoindeksin ( $R_a$ ) mukaisesti. (ST-kortti 58.02, 5.) Taulukossa 2 sivulla 22 on esitettyinä toimistoilta vaadittavat  $R_a$  -arvot.

### 5.2.6 Välkynä ja stroboskooppi-ilmiö

Valaistusjärjestelmä on suunniteltava standardin mukaan siten, että valojen välkyntää tai stroboskooppi-ilmiötä ei esiinny. Käyttämällä elektronista liitäntälaitetta vältetään näiltä ongelmilta. (ST-kortti 58.02, 5.) Valojen välkynä saattaa aiheuttaa työn häirinnän lisäksi päänsärkyä. Stroboskooppi-ilmiössä ihminen hahmottaa pyörivät ja edestakaisin liikkuvat kohteet todellista hitaampina tai pysähtyneinä, joten ilmiö voi aiheuttaa vaaratilanteita. (SFS-EN 12464-1, 30.)

### 5.2.7 Näyttöpäätetyötilojen valaistus

Näyttöpäätetyötiloja suunnitellessa on tärkeä huomioida valon heijastuminen. Näyttöön tai näppäimistöön kohdistuvaan heijastumiseen voidaan vaikuttaa valaisinvalinnoilla tai valaisimien sijoittelulla. Paperit heijastavat myös valoa, joten niiden kautta voi aiheutua kiusahäikäisyä. (ST-kortti 58.02, 5.) Näyttöpäätetyötilojen valaistussuosituksat riippuvat käytetyistä valaisimista, niiden sijainneista, käytettävien näyttöjen kontrastista sekä näytön kaltevuuskulmasta (SFS-EN 12464-1, 30).

### 5.2.8 Valaistuksen alenemakerroin

Valaistuksen alenemakerroin lasketaan luvun 5.1.3 mukaisesti. Arvolla saadaan tilaan riittävä valaistus koko huoltovälille.

Standardin mukaan suunnittelijan tulee määritellä alenemakerroin ja esittää laskentatapa oletuksineen. Suunnittelijan tulee lisäksi käyttää tilaan sopivia valaistuslaitteita ja määritellä huoltosuunnitelma. Huoltosuunnitelman tulee sisältää lampunvaihtoväli, valaisimien, tilan ja ikkunoiden puhdistusvälit sekä käytettävä puhdistusmenetelmä. (ST-kortti 58.02, 5.)

### 5.2.9 Energiatehokkuusvaatimukset

Standardin mukaisessa valaistuksessa on otettu huomioon tilan käyttötarkoitus ja energiatehokkuus. Valaistuksen vaatimukset eivät saa kärsiä energiansäästön vuoksi. Tilassa tulee hyödyntää päivänvaloa, ohjata valaistusta ja kiinnittää huomiota valaistushuoltoon. (ST-kortti 58.02, 5.)

### 5.3 EuP-direktiivin vaikutus toimistovalaistukseen

EuP- direktiivin (Energy Using Products -direktiivi) avulla pyritään parantamaan markkinoille tuotavan tekniikan energiatehokkuutta ja vähentämään hiilidioksidipäästöjä sekä energiankulutusta. Valaisimet ovat vain yksi tuoteryhmä, jota tämä uudistus koskee. (Sähköinfo Oy 2010, 1.)

Toimistoissa käytetään usein loistelamppuvalaisimia, joissa on sisäinen virranrajoitin. Niissä ei kuitenkaan ole lampulle omaa virranrajoitinta. Direktiivin myötä tällaisessa tapauksessa virranrajoitus pitäisi toteuttaa myös lampulle. Direktiivi estää magneettisilla virranrajoittimilla varustettujen valaisimien markkinoille tulon vuodesta 2017 alkaen. Lisäksi direktiivillä poistetaan markkinoilta kaksinastaiset kompaktiloistelamput, joissa käytetään sisäistä sytytintä. Virranrajoitusmuutos aiheuttaa siis valaisimen vaihdon, sillä myöhemmin ei ole saatavilla magneettisella virranrajoittimella toimiviin valaisimiin korvaavia lamppuja. (Sähköinfo Oy 2010, 1-2.)

### 5.4 DIALux-valaistuslaskentaohjelma

Työn valaistuksenlaskennassa käytetään DIALux 4.12 -ohjelmaa. Ohjelma on käyttäjällä ilmainen ja siihen saa ladattua valmistajien valaisintietokannat.

Ohjelmaan saa siirrettyä taustalle CAD-tiedoston, josta pystyy sitten pohjakuvan avulla mallintamaan tilan. Kohteen suunnittelu alkaa tilan muotojen mallintamisella, jossa annetaan tilan pituus, leveys ja korkeus. Myös tilan objektit saadaan hyvin mallinnettua. Ohjelmasta löytyy pylväitä, portaita ja ramppeja. Tilan muotojen mallintamisen jälkeen tila voidaan kalustaa halutunlaiseksi. Ohjelmasta löytyy erilaisia tuoleja, pöytiä, hyllyjä ja monia muita esineitä.

Valaisimet voi sijoittaa yksitellen tai ryhminä. Valaisimet voidaan myös sijoittaa keskimääräisen minimivalaistusvoimakkuuden mukaan, esimerkiksi 500 lx valaistustason mukaisesti. Tällöin ohjelma antaa valaisinmäärän, jolla haluttu valaistustaso saavutetaan.

Ohjelmalla saadaan erilaisia taulukoita, joissa on valaistusvoimakkuudet laskettuna määrätyleisille pintoille tai alueille. Hyvä ominaisuus pintojen valaistusvoimakkuuden tarkasteluun on väärävärinäyttö. Väärävärinäyttö värittää pinnan sen valaistusvoimakkuuden mukaisesti. Esimerkkinä väärävärinäytöstä on kuvio 7 sivulla 40.

Ohjelman antamissa tilan laskentatulostaulukoissa (esim. taulukko 9 sivulla 39)  $E_m$  tarkoittaa keskimääräistä valaistusvoimakkuutta,  $E_{min}$  valonvoimakkuuden pienintä arvoa,  $E_{max}$  valonvoimakkuuden maksimiarvoa,  $\frac{E_{min}}{E_m}$  kuvaa valaistusvoimakkuuden tasaisuutta. Käyttötaso on tasokorkeus, jolla työtä tehdään. Istumatyössä käyttötaso on 1,2 m ja seisomatyössä 1,6 m.

## 5.5 Fagerhult LCC -kustannuslaskentaohjelma

Fagerhult LCC on valaistuksen elinkaarikustannuslaskentaan kehitetty ohjelma. Ohjelmalla lasketaan esimerkiksi valaistusratkaisun investoinnin takaisinmaksuaikaa. Laskelmat ottavat huomioon asennuskustannukset, investointikustannukset ja käyttökustannukset. Ohjelmalla voidaan vertailla erilaisen valaistusjärjestelmien kustannuksia ja energiatehokkuutta tietyllä aikavälillä. Ohjelmalla pystytään laskemaan valaistuksen aiheuttamien hiilidioksidipäästöjen määrää ja vertailemaan niitä eri ratkaisuihin. Ohjelmaan pystytään syöttämään sähköenergian kasvun ennusteet ja laskemaan tulokset huomioiden inflaation ja laskentakoron. Ohjelmalla on valaistuksen lisäksi mahdollista laskea myös jäähdytysenergian määrää.

Kustannuslaskenta perustuu ohjelmaan syötettyihin tietoihin, joita ovat: valaisimen kustannukset, valonlähteen tiedot, pitoikä, polttoikä, vaihtokustannukset, liitäntälaitteet, ohjausjärjestelmät sekä vuotuiset käyttötunnit.

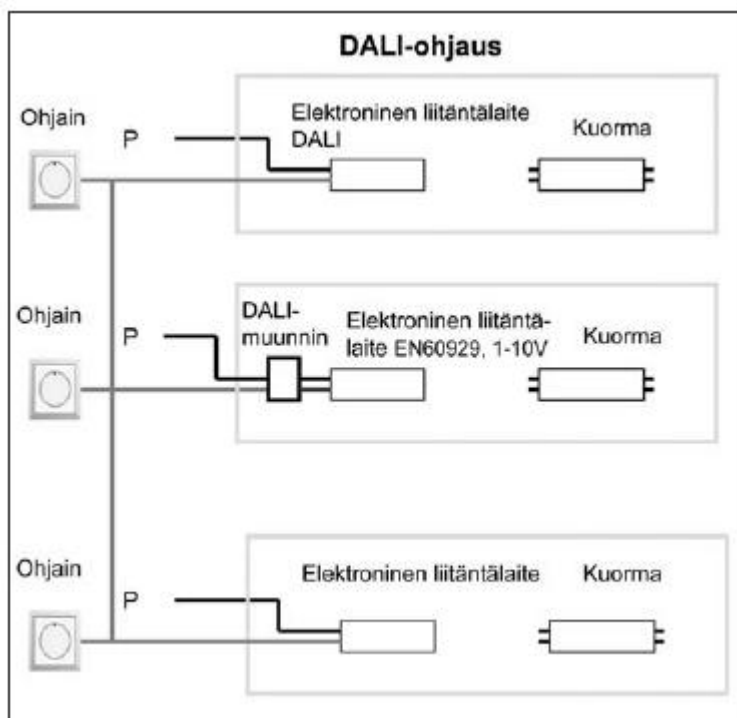
## 5.6 Valaistuksen ohjaus ja säätö

Valaistuksen ohjaustapa voi perustua automatiikkaan tai käyttäjän manuaaliseen ohjaukseen. Ohjaustavan valintaan vaikuttaa tilan tyyppi ja sen käyttötapa. Valaistuksen säädöllä pyritään luomaan tilasta käyttäjää miellyttävä ja säästämään energiaa. Automaattisen ohjaustavan kanssa käytetään usein myös manuaalista ohjaustapaa. Valonohjaus- ja säätöjärjestelmä voidaan liittää rakennusautomaatiojärjestelmään, jolloin samalla tilatiedolla voidaan ohjata muutakin tekniikkaa. (ST-kortti 58.04, 10.)

## 5.7 DALI-ohjausjärjestelmä

EN 60929 -standardi käyttää digitaalisesta ohjauksesta nimitystä DALI. DALI on ohjausmuoto, jossa yhdellä johdinparilla saadaan säädettyä 64:ää laitetta. DALI:ssa jokaisella laitteella, kuten valaisimella ja käyttöpaneelilla, on omat osoitteensa, minkä vuoksi laitteet ovat yksilöllisesti säädettävissä. DALI -ohjausjärjestelmä on liitäntälaitestandardoitu järjestelmä eli se mahdollistaa eri valmistajien liitäntälaitteiden yhteensopivuuden. Ohjainkomponenteille ei ole tehty standardia, joten niitä valitessa kannattaa käyttää vain yhden valmistajan tuotteita yhteensopivuuden takaamiseksi. DALI-järjestelmän kokoonpano on muunneltavissa tapauksittain. DALI-ohjausjärjestelmä vaatii toimiakseen ohjelmointia. (ST-kortti 58.32, 7.)

Kuvassa 4 on esitetty DALI-ohjauksen periaatekuva. Kuvasta ilmenee, että kaikki laitteet ovat kytkettyinä samaan väylään ja elektronisella liitälaitteella varustettuja valaisimia säädetään ohjaimella. Yksi DALI:n ohjausmuoto on suorapainikeohjaus. Suorapainikeohjauksessa ohjausjohtimen ja nollajohtimen väliin kytketään impulssipainike, joka toimii painalluksenpituuden mukaisesti. Nopealla painalluksella saadaan valot sytytettyä ja pois päältä. Pidemmällä painalluksella saadaan säädettyä jokaista valoa vuorotellen. Suorapainikeohjausta voidaan käyttää digitaalisen DALI-ohjauksen rinnalla. (ST-kortti 58.32, 7.)



KUVA 4. DALI-ohjauksen periaatekuva. (ST-Kortti 58.32, 7.)

#### 5.7.1 Läsnaolo-ohjaus

Oikein toteutetulla läsnäolo-ohjauksella voidaan saavuttaa 30 % energiansäästö, riippuen tilan käyttäjästä ja laajuudesta. Läsnaolo-ohjauksessa valaistusta ohjataan liiketunnistimien tilatietojen mukaisesti. Läsnaolo-ohjauksessa valaisimelle asetetaan viive, jonka mukaisesti valot sammuvat kun tilan läsnäolotunnistin ei havaitse käyttäjää. Läsnaolon tunnistamiseksi on syytä valita riittävän herkkä anturit, sekä sopiva viiveaika, jottei valot mene turhaan pois päältä käyttäjän ollessa tilassa. Läsnaolo-ohjaus soveltuu tiloihin, joissa käyttö on satunnaista. Toimistotilat ja varastot ovat hyvä esimerkki läsnäolo-ohjauksen käyttökohteesta. Haluttaessa maksimaalinen hyöty läsnäolo-ohjauksesta tulee sen rinnalle liittää vakiovalo-ohjaus. Tuolloin tilan valot säätävät tilan valaistustason ja läsnäolon yhteisvaikutuksesta. Tilan valaistustason ollessa riittävä luonnonvalon vaikutuksesta eivät tilan valot syty vaikka läsnäolotunnistus antaisikin käskyn syttyä. Tällöin tilan valot saadaan päälle kuitenkin kytkimestä. (ST-kortti 58.32, 5.)

### 5.7.2 Vakiovalo-ohjaus

Vakiovalo-ohjauksessa tilalle määritetään haluttu valaistustaso, jonka mukaisesti valaistusjärjestelmä pyrkii valaisemaan tilaa. Tällöin tilassa on valoantureita, jotka mittaavat tilan valaistustasoa. Vakiovalo-ohjauksella pyritään hyödyntämään luonnonvaloa ja välttämään täten tilan liiallista valaisemista energiaa säästäen. Säädön nopeus ja herkkyys riippuvat järjestelmästä. Nopea ja yliherkkä säätö ärsyttää käyttäjän silmiä. Vakiovalo-ohjausta käytetään yleensä osana DALI-ohjausjärjestelmää.

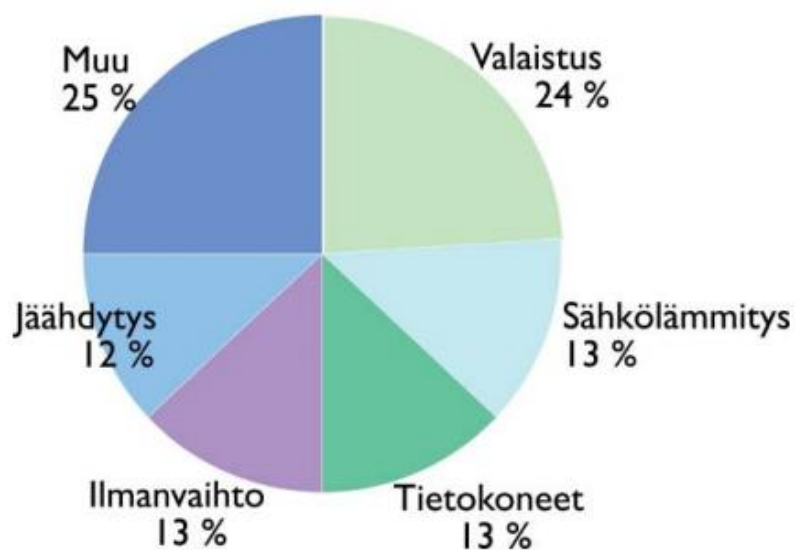
### 5.7.3 Valaistuksen kello-ohjaus

Valaistuksen kello-ohjausta käyttämällä määritetään työskentelyajat. Valot kytketään pois, kun tilassa ei odotettavasti enää työskennellä. Määritetty kellonaika voidaan ohjelmoida päiväkohtaisesti, huomioiden viikonpäivä, loma-aika sekä maantieteelliset auringon nousu- ja laskuajat. (Philips.)

## 6 ENERGIA TEHOKKUUS

### 6.1 Energiankulutus toimistoissa

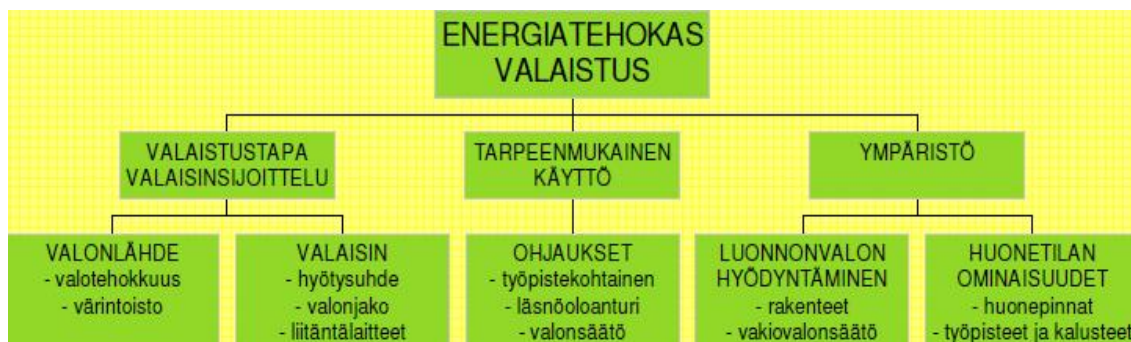
Suomessa 19 % sähkön kokonaiskulutuksesta on palvelu- ja julkisen sektorin kuluttamaa sähköä. Toimistoissa sähkönkulutus jakautuu kuvion 4 mukaisesti. Valaistuksen osuus toimiston sähkön kokonaiskulutuksesta on keskimäärin 24 %, mutta valaistus voi olla toteutuksen mukaan jopa 30 - 50 % sähkönkokonaiskulutuksesta. (Motiva 2006.)



KUVIO 1. Toimiston sähkönkulutuksen jakauma (Motiva 2006.)

### 6.2 Valaistuksen energiatehokkuus

Hyvä energiatehokas valaistus koostuu alhaisesta sähkötehosta ja oikein hyödynnetystä ohjausjärjestelmästä saavuttaen silti hyvät näkemisen edellytykset. Ohjausjärjestelmällä saadaan kokonaiskäyttöaikaa vähennettyä, kun hyödynnetään päivänvalo-ohjaus, läsnäolo-ohjaus ja vakiovalo-ohjaus. (Fagergult 2012 - 2013, 514.) Energian kannalta tehokas valaistus koostuu kuvion 5 asioiden hyödyntämisestä ja oikeanlaisista valinnoista. Valaistustapa, tarpeenmukainen käyttö ja ympäristö ohjaavat energiatehokkaan valaistuksen vaatimuksia. (Suomen valoteknillinen seura ry 2008, 24.)



KUVIO 5. Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät (Suomen valoteknillinen seura ry 2008, 24.)

### 6.2.1 LENI-luku

LENI-luku toimii valaistuksen energiatehokkuuden mittarina. LENI:llä kuvataan rakennuksen sisävalaistuksessa käytettyä vuosienergiaa rakennuksen sisätilojen kokonaispinta-alaa kohden. Pinta-alan laskenta tehdään rakennuksen ulkoseinien sisäpuolelta jättäen huomioimatta asumattomat kellaritilat ja valaisemattomat alueet. Rakennuksen LENI-luku lasketaan kaavalla 2:

$$LENI = \frac{W_{kokonais}}{A} \left( \frac{kWh}{m^2}, vuosi \right) \quad (2)$$

jossa

- $W_{kokonais}$  kuvaa valaistuksen vuotuista energiankulutusta ( $kWh$ ).
- $A$  Rakennuksen sisätilojen kokonaispinta-ala ( $m^2$ ).
- LENI-luvulla voidaan myös ilmoittaa yksittäisen tilan tai tietyn osan energiatehokkuus. (Fagerhult 2012 - 2013, 511.)

LENI-luku voidaan laskea pikalaskentamenetelmällä ja tarkalla laskentamenetelmällä. Pikalaskentamenetelmällä arvioidaan koko rakennuksen vuosittaista energiankäyttöä, ja se soveltuu vain tiettyihin yleisesti esiintyviin rakennustyyppeihin. Tarkka laskentamenetelmä perustuu huoneen todellisiin arvoihin, ja sitä voidaan käyttää kaikenlaisien rakennusten arviointiin. Tarkalla laskentamenetelmällä saadaan pikalaskentamenetelmää alhaisempi LENI-luku. Fagerhultin ja DIALuxin laskentaohjelmat perustuvat tarkkaan laskentamenetelmään. (Fagerhult 2012 - 2013, 512.)

Energiankulutuksen tarkka laskentakaava on seuraava:

$$LENI = \frac{W_{valaistus} + W_{lepokulutus}}{A} \left( \frac{kWh}{m^2}, aika \right) \quad (3)$$

jossa

- $W_{valaistus}$  kuvaa rakennuksen valaistuksen energiankulutusta arvioituna aikana ( $kWh/aika$ )



- $W_{\text{lepokulutus}}$  kuvaa energiankulutusta valaistuksen ollessa sammutettu. Tällaista energiankulutusta aiheutuu valmiustilassa olevista laitteista tai latautuvista hätävalaisimista.

Tarkka laskentamenetelmä huomioi laskuissa päivänvalon riippuvuuskertoimen, läsnäolokertoimen ja ylimitoituksen kompensointikertoimen halutulla ajanjaksolla. Päivänvalon riippuvuuskerroin kuvaa säästöä, joka saadaan säätämällä valaistuvoimakkuutta päivänvalon mukaan. Läsnäolokertoimella kuvataan valaistuksen ajallista käyttöä suhteutettuna läsnäoloon. Kompensointikertoimella otetaan huomioon uuden asennuksen ylimitoituksen aiheuttama energiankulutus. (Fagerhult 2012 - 2013, 513.)

TAULUKKO 6. Ohjauksen vaikutus toimiston alenemakertoimen laskentaan (Fagerhult 2012 - 2013, 514.)

	Perussuositukset asennusteholle W/m²	Alennuskertoimet (kokonaiskäyttöajasta)			Vertailuluku, energiankäyttö (LENI-arvo) [kWh/m², vuosi]			
		Manuaaliohjaus	Läsnäolo-ohjaus	Päivänvalo-ohjaus	Manuaaliohjaus 1	Poissaolo-/läsnäolo-ohjaus 2	Poissaolo-/läsnäolo- ja päivänvalo-ohjaus 3	
Toimisto – Käyttöaika 2500 h standardin EN 15193 mukaan								
Solutoimisto	Ohjearvo	10	0,80	0,75	0,56	20	15	8
>10 m²	Tavoitearvo	8	0,80	0,75	0,56	16	12	7
Suuri toimisto	Ohjearvo	12	1,00	0,90	0,77	30	27	21
>12 m²	Tavoitearvo	10	1,00	0,90	0,77	25	23	17
Käytävä	Ohjearvo	8	1,00	0,75	0,57	20	15	9
	Tavoitearvo	6	1,00	0,75	0,57	15	11	6

Taulukon 6 arvoilla toimiston alenemakerroin lasketaan ohjauskohtaisesti seuraavalla tavalla:

- Suuri Toimisto manuaalisella ohjauksella = Asennusteho x käyttöaika x alennuskerroin 1,0.
- Suuri Toimisto läsnäolo-ohjauksella = Asennusteho x käyttöaika x alennuskerroin 0,9.
- Toimisto läsnäolo- ja päivänvalo-ohjauksella = Asennusteho x käyttöaika x alennuskerroin 0,9 x alennuskerroin 0,77.

Suuren toimiston perussuositus LENI-arvoksi on 12W/m<sup>2</sup>.

Standardi EN 15193 antaa toimistoille yleisesti käyttöajaksi 2500 h. (Fagerhult 2012 - 2013, 514.)

## 6.2.2 Valaisimen valinta osana energiatehokkuutta

Valaisimien energiatehokkuutta kuvaava energiamerkki uudistui syyskuussa 2013. Uudistuksen myötä lamppujen ja valaisimien markkinoinnissa tulee ilmetä tuotteen energialuokka. Lisäksi valaisimissa tulee olla energiamerkki. Energiamerkki kertoo energialuokat, jonka mukaisia lamppeja valaisimessa voidaan käyttää. Merkistä ilmenee myös, voiko valaisimessa käyttää LED-lamppuja tai voiko valaisimen lamput vaihtaa. Valaisimeen sopivia lamppeja tulisi olla A+ + - A -energialuokan lamput. Markkinoiden tehokkaimmat LED-lamput yltyvät A+ -luokkaan ja energiansäästölamput A-luokkaan. Osassa uusista valaisimista on kiinteät lamput, joita ei voi vaihtaa, joten lampun rikkoutuessa on koko valaisin vaihdettava uuteen. (Motiva 2014.)

Valaisimia valittaessa on syytä unohtaa wattimäärät ja kiinnittää huomiota luumen -arvoon. Sähkön kulutusta ilmaisevaa wattimäärää ei voi muuntaa luumeneiksi, mutta vertailuna voidaan käyttää esimerkiksi 800 lm LED-lamppua, joka vastaa 60 W hehkulamppua. (Motiva 2014.)

### 6.3 Valaistusjärjestelmän kustannukset

Valaistusjärjestelmän kustannukset koostuvat investointikustannuksista ja käyttökustannuksista. Yleensä kustannukset ovat toisiinsa sidoksissa siten, että mitä suuremmat investointikustannukset sitä pienemmät käyttökustannukset. Panostettaessa investointivaiheessa matalaan energiankäyttöön tähtääviin ratkaisuihin säästetään energiakustannuksissa. (ST-kortti 58.04, 10.)

Energiakustannusten jälkeen seuraavaksi suurin kustannuserä on lamppujen vaihtamisesta aiheutuvat kustannukset. Huoltokustannukset riippuvat tilan käyttötarkoituksesta. Esimerkiksi toimistoissa valaisimet eivät juurikaan likaannu, mutta teollisuudessa likaantuvat ja aiheuttavat huoltokustannuksia. Kustannuksien minimoimiseksi kannattaa valita valaisimiin hyötysuhteeltaan tehokkaita valonlähteitä, jotka ovat eliniältään pitkäkestoisia. Lisäksi valaistusjärjestelmän ohjaustapoihin tulee kiinnittää huomiota. (ST-kortti 58.04, 10.)

## 7 KOHTEEN SUUNNITTELU

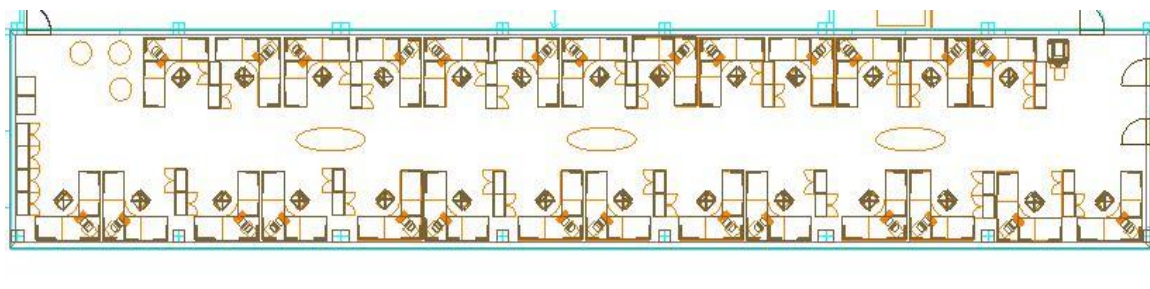
### 7.1 Toimisto

Valaistussuunnittelun kohteena on Suomen LED-valaisimien asiakas. Asiakkaalle laaditaan valaistus-suunnitelma Valoa LED -malliston valaisimia käyttäen. Toimiston valaistusvaihtoehdot toteutetaan LED-valaisimin. Valaistusvaihtoehtojen tulee olla alkuperäisvalaistusta energiatehokkaammat ja niiden tulee täyttää standardien vaatimukset.

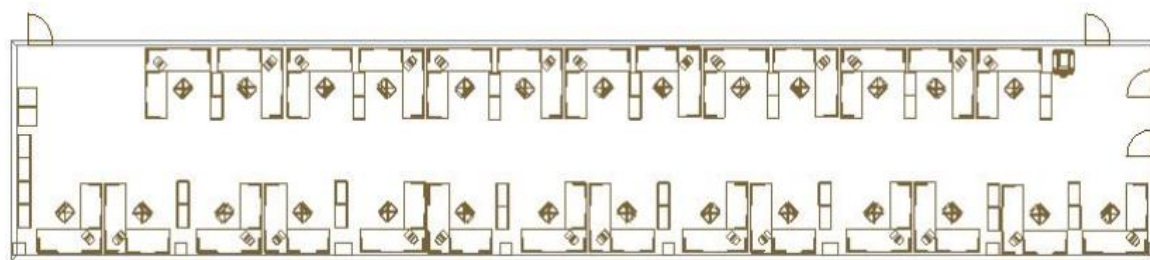
Toimisto on 300 m<sup>2</sup> kokoinen avokonttori, jossa on 27 työpistettä. Jokaisella työpisteellä on tietokone ja runsaasti kalustusta. Suunnitelmassa jokaiselle työpisteelle suunnitellaan riittävä valaistus kellonajasta riippumatta, joten ikkunoiden läpi tulevaa päivänvaloa ei hyödynnetä. Toimiston valaistusratkaisut toteutetaan perinteiseen järjestelmään, joten tässä työssä ei perehdytä väyläohjaustekniikoihin ja päivänvalo-ohjaukseen. Toimisto on puhdas tila, joten valaisinhuollon väliksi on määritetty 2 vuotta.

#### 7.1.1 Toimiston nykytilanteen mallintaminen

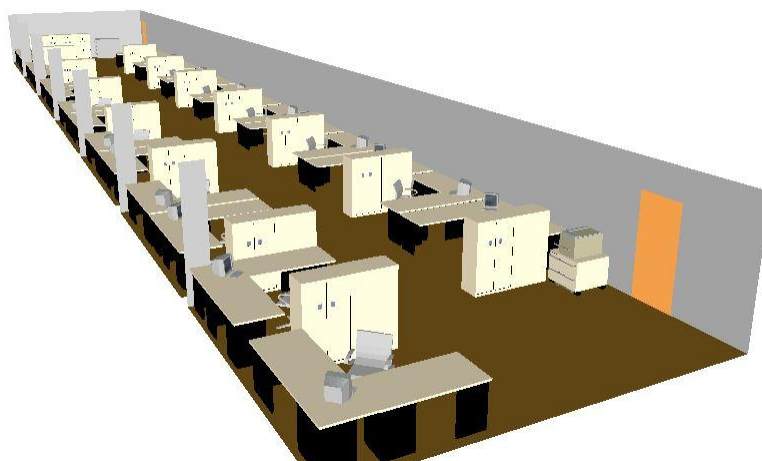
Toimiston valaistussuunnittelu aloitettiin DIALux -ohjelmalla tuomalla dwg -tiedoston, jossa on rakennuksen pohjakuva (kuva 5). Pohjakuvan avulla mallinnettiin toimiston seinät, ovet, pöydät ja muun kalustuksen (kuva 6). Mallintamisen jälkeen toimisto näytti luonnossa seuraavalta (kuva 7).



KUVA 5. Toimiston pohjakuva.



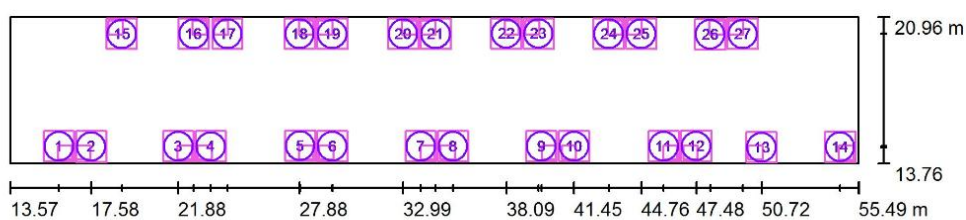
KUVA 6. Mallinnettu toimisto.



KUVA 7. Toimiston 3D-malli.

Toimiston pohjakuvan mallintamisen jälkeen sijoitin laskettavat työalueet (kuva 8) mukaisesti. Työalueiden lisäksi sijoitin UGR-katsojan 1,2 m korkeudelle jokaiselle työpisteelle. UGR-katsojat on suunnattu oletettuun katselusuuntaan (kuva 9).

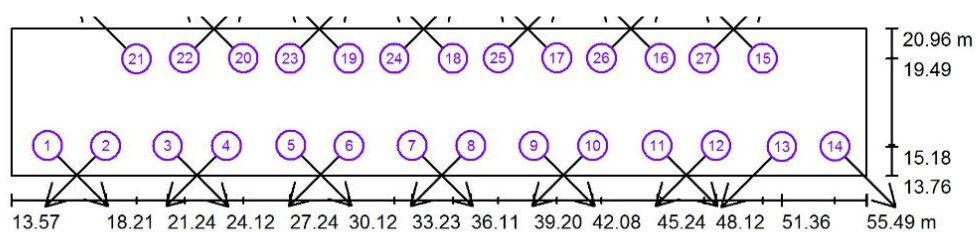
#### Toimisto / Työalueet (koordinaattien luettelo)



Mittakaava 1 : 300

KUVA 8. Työalueet sijoitettuina toimistoon.

#### Toimisto / UGR-pinnat (koordinaattiluettelo)

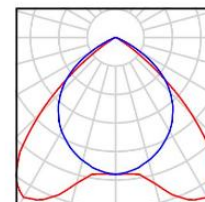


Mittakaava 1 : 300

KUVA 9. UGR-katsojat sijoitettuina toimistoon.

Tilan muotojen mallintamisen ja laskettavien pintojen määrittämisen jälkeen, aloin mallintamaan tilan nykyistä valaistusta. Tilan valaistus on toteutettu loisteputkivalaisin 2 x 58 W, joita on tilassa 36 kappaletta. Valaisimissa käytetään Philips TL-D 58 W T8 -lamppuja, joiden polttoikä on 10 000 h. Valaisimet ovat kolmessa rivissä, 12 valaisinta rivillään. Mallinnuksessa käytetyn valaisimen tiedot näkyvät kuvassa 10 ja lopulliset valaisimien sijainnit kuvassa 11.

ELEKTROSKANDIAFI 4223749 Classic  
W/2x58/60  
Tavaratunnus: 4223749  
Valovirta (Valaisin): 6392 lm  
Valovirta (Lamput): 10400 lm  
Valaisimien teho: 134.0 W  
Valaisinten luokittelu CIE: 100  
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 63  
95 99 100 61  
Varustus: 2 x Philips TL-D 58W (Korjaustekijä  
1.000).



KUVA 10. Toimiston nykyiset valaisimet.



KUVA 11. Nykyisten valaisimien sijainnit.

Taulukon 7 antama  $2,48 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  arvo on saatu jakamalla neliötä kohden valaistukseen käytetty teho käyttötason keskimääräisellä valaistusvoimakkuudella  $E_m$  (taulukko 9) ja esitettyinä se 100 lx kohden.

TAULUKKO 7. Nykyisen valaistuksen tiedot sekä tilan LENI-luku.

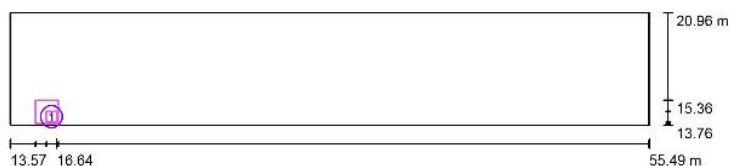
#### Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	36	ELEKTROSKANDIAFI 4223749 Classic W/2x58/60 (1.000)	6392	10400	134.0
			Yhteensä: 230103	Yhteensä: 374400	4824.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $15.98 \text{ W/m}^2 = 2.48 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $301.86 \text{ m}^2$ )

Ohjelma laskee jokaisen työalueen valaistusvoimakkuuden sekä valaistustasaisuuden ja UGR-luvun taulukon 8 ja kuvan 13 tavalla. Standardin vaatimukset on taulukoituna taulukossa 2, josta saadaan tilalle vaatimukset:  $E_m=500 \text{ lx}$ ,  $U_0=0,6$  ja UGR-luvun maksimiarvo 19.

TAULUKKO 8. Työalueen 1 tulokset. Ohjelma laskee jokaiselle työalueelle erikseen taulukon.

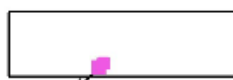


Mittakaava 1 : 300

Numero	Tunnus	Rasteri	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
	Työalue 1	4 x 4	546	470	626	0.861	0.751
	Ympäröivä alue	8 x 8	640	464	747	0.725	0.622

9:ssä 27 tapauksesta alkuperäisellä valaistuksella eivät täyty valaistusvoimakkuus vaatimukset (500 lx) työalueelle. Tasaisuusvaatimus täyttyy kuitenkin jokaisella työpisteellä. 9:ssä 27 tapauksista myös suurin sallittu UGR-luku ylittyi. Kuvassa 12 näkyy esimerkkinä yhden työalueen UGR-lukutulokset. Tulokset osoittavat, että häikäisyn suhteen tilassa ollaan kriittisellä alueella, sillä luku 19 on suurin sallittu arvo.

Pinnan sijainti tilassa:  
Merkitty piste: (23.622 m,  
14.729 m, 1.200 m)



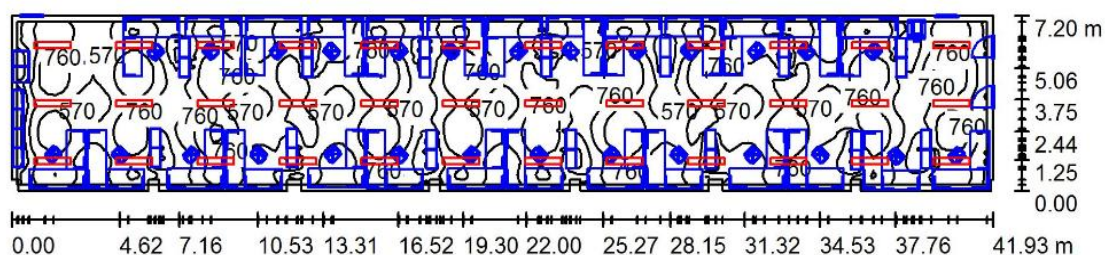
0.750	19	18
0.250	14	13
m	0.250	0.750

Huomio: Koordinaatit viittaavat yläpuolella olevaan kuvaan.

Rasteri: 2 x 2 Pisteet

KUVA 12. UGR-kuvassa on yhden UGR-katselijan antamat arvot koordinaattien mukaisesti.

Kuviosta 6 näkee, kuinka valovoimakkuus jakautuu tilassa. Käytävillä on eniten valoa, vaikka eniten valoa tarvittaisiin seinien vierelle työpisteille. Valaisimien paremmalla sijoittelulla ja tilan yleistä valaistusvoimakkuutta laskemalla tilasta saa energiatehokkaamman.



KUVIO 6. Nykyisen valaistuksen isolux-kuvaaja.

Taulukosta 9 näkee tilassa käytetyt heijastussuhdeprosentit. Arvot ovat ohjelman vakioarvoja, jotka on valittu mallintamaan huonointa tilannetta. Lattialle käytin arvoa 20 %, seinille 52 % ja katolle 70 %. Todellisuudessa pintojen heijastussuhteet ovat hivenen korkeammat.

TAULUKKO 9. Tilan heijastussuhteet.

Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.600 m

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:300

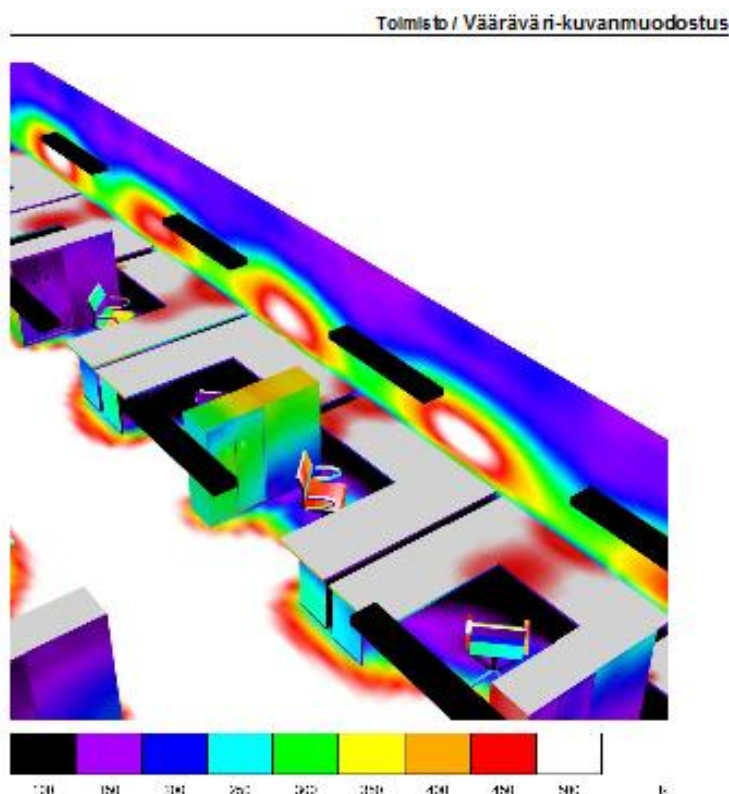
Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	645	58	978	0.090
Lattia	20	347	19	767	0.054
Katto	70	165	86	301	0.525
Seinät (10)	52	210	33	664	/

**Käyttötaso:**

Korkeus: 0.850 m  
 Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
 Reuna-alue: 0.250 m

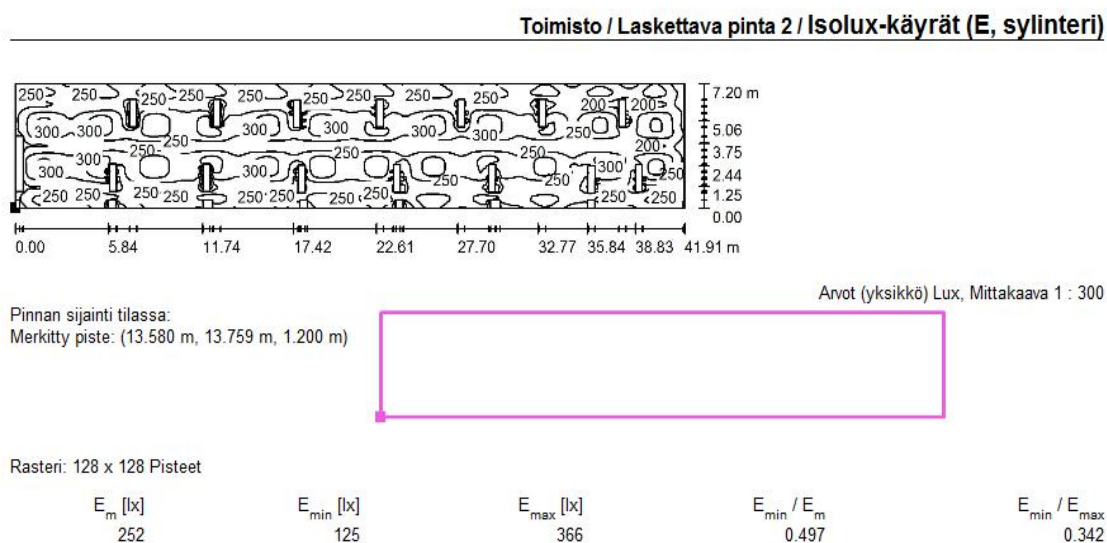
Vääräväri-kuva on hyvä työkalu valaistusvoimakkuuksien hahmottamiseksi eri tilan pinnoilla. Kuvion 7 värit on eroteltu luksimääräisesti 50 lx portaikolla väristä toiseen. Suurinta valaistusvoimakkuutta ilmaistaan valkoisella, kun saavutetaan 500 lx tai enemmän valaistusvoimakkuutta. Pienintä valaistusvoimakkuutta kuvaa musta 100 lx tai alle.





KUVIO 7. Vääräväri-kuva tilan nykyisellä valaistuksella.

Hyvän visuaalisen näkemisen edellytykseksi tilasta lasketaan vielä sylinterivalaistusvoimakkuus arvo. Istumatyössä sylinterivalaistusvoimakkuus lasketaan 1,2 m koreudelta. Kuvasta 13 näkee alkupe-  
räisvalaistuksella sylinterivalaistusvoimakkuuden isolux-kuvaajan ja taulukoidut arvot valaistusvoi-  
makkuudelle sekä sen tasaisuudelle. Standardin vaatimukset  $E_z=150$  lx ja  $U_0 = 0,1$  löytyvät osiosta  
5.2.4.



KUVA 13. Sylinterivalaistusvoimakkuus laskelmat.

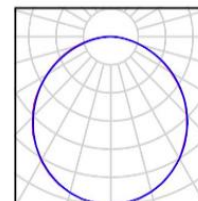


## 7.1.2 Valaistusratkaisu 1.

Toteutin ensimmäisen valaistusratkaisun käyttämällä kuvan 14 LED- paneeleita. Paneeli on mitoit-  
taan 600 x 600 x 50 mm. Sen voi asentaa kattoon pinnalle tai uppoasennuksena. Paneeli on umpi-  
nainen, joten se ei pölyynny ja pinnan puhdistaminen on helppoa. Valaistusratkaisu 1 paneelia on  
saatavana 2 500 – 3 000 K, 4 000 – 4 500 K ja 6 000 – 6 500 K arvoilla. Tilassa käytettäisiin 2 500 –  
3 000 K värilämpöisiä paneeleita.

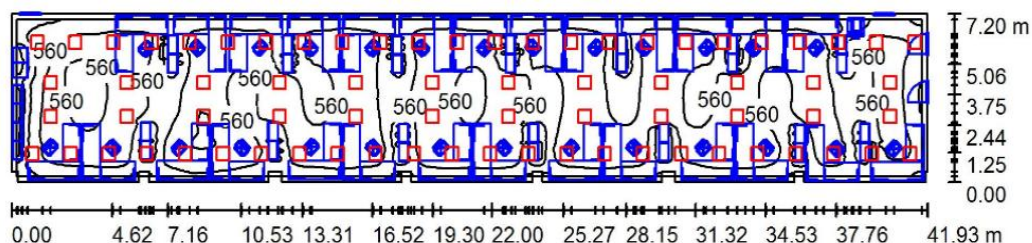
72 Kappale CG 1 595\*595\*48  
Tavaratnumero: 1  
Valovirta (Valaisin): 3081 lm  
Valovirta (Lamput): 3600 lm  
Valaisimien teho: 36.4 W  
Valaisinten luokittelu CIE: 100  
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 47  
78 95 100 86

Löydät valaisimen kuvan  
valaisinluettelosta.



KUVA 14. Paneelin tekniset tiedot.

Isolux-kuvaajasta (kuvio 8) ilmenee, että paneelit on sijoitettu neljään riviin. Reunimmaisissa riveis-  
sä on 24 valaisinta ja käytävällä keskimmaisissa riveissä 12 valaisinta. Näin valaistusta on siellä, mis-  
sä sitä eniten tarvitaan eli seinien vieruksilla työpöydillä.



Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.600 m

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:300

KUVIO 8. Valaistusratkaisun 1 isolux-kuvaaja.

Tällä valaistusratkaisulla saadaan työalueiden valaistusvoimakkuudet standardin vaatimusten mukai-  
seksi, huomioiden myös valaistusvoimakkuuden tasaisuusvaatimukset. Tällöin työalueen keskimää-  
räinen valaistusvoimakkuus on minimissään 501 lx ja suurimmillaan 560 lx. Valaistusvoimakkuuden  
tasaisuus saa huonoimmillaan arvon 0,845 ja parhaimmillaan 0,901. Tilan suurimmaksi UGR-luvuksi  
tulee 16. LENI-luvuksi toimistoon tulee tällä ratkaisulla 8,68 W/m<sup>2</sup>. Tulokset on esitetty taulukossa  
10, jossa on laskettu koko tilan valaistusvoimakkuudet tasaisuuksineen. En esittele työssäni erikseen  
jokaisen työalueen tuloksia.

TAULUKKO 10. Valaistusratkaisun 1 laskentatulokset.

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	567	66	726	0.116
Lattia	20	299	22	578	0.074
Katto	70	160	85	323	0.535
Seinät (10)	52	270	30	887	/

**Käyttötaso:**

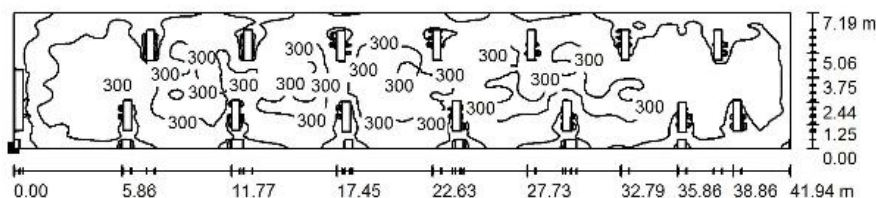
Korkeus: 0.850 m  
 Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
 Reuna-alue: 0.250 m

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	72	CG 1 595*595*48 (1.000)	3081	3600	36.4
Yhteensä: 221834			Yhteensä: 259200	2620.8	

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $8.68 \text{ W/m}^2 = 1.53 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $301.86 \text{ m}^2$ )

Toimiston valaistusratkaisulla 1 lasketut sylinterivalaistusvoimakkuudet näkyvät kuvassa 15. Tällä ratkaisulla sylinterivalaistusvoimakkuus ja valaistuksen tasaisuus ovat standardin vaatimuksien mukaiset.

**Toimisto / Laskettava pinta 1 / Isolux-käyrät (E, sylinteri)**

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 300

Pinnan sijainti tilassa:  
 Merkitty piste: (13.554 m, 13.759 m, 1.200 m)



Rasteri: 128 x 128 Pisteet

$E_m$  [lx]  
273

$E_{min}$  [lx]  
133

$E_{max}$  [lx]  
333

$E_{min} / E_m$   
0.486

$E_{min} / E_{max}$   
0.399

KUVA 15. Sylinterivalaistusvoimakkuus ratkaisulle 1.

## 7.1.3 Valaistusratkaisu 2

Valaistusratkaisun 2 toteutin kuvan 16 LED-paneeleilla. Suurimpana erona ensimmäiseen ratkaisuun on paneelin koko 1200 x 300 mm. Paneelin värilämpötila ja huollettavuus ovat samat kuin ratkaisun 1 paneelilla. Ratkaisun 2 paneeli kuluttaa tehoa 37,1 W ja ratkaisun 1 paneeli 36,4 W, eli ratkaisun 2 paneeli on hivenen enemmän energiaa kuluttava vaihtoehto.

72 Kappale 36W

Tavaranumero:

Valovirta (Valaisin): 2832 lm

Valovirta (Lamput): 2830 lm

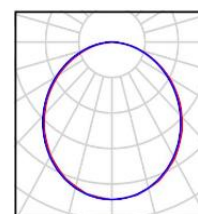
Valaisimien teho: 37.1 W

Valaisinten luokittelu CIE: 100

Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 47

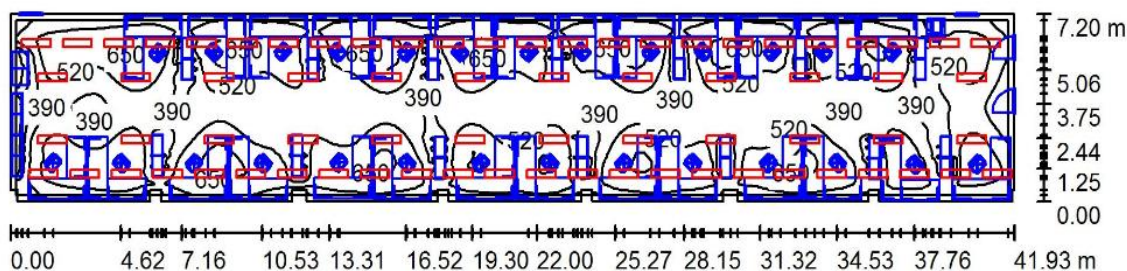
79 96 100 100

Löydät valaisimen kuvan  
valaisinluettelosta.



KUVA 16. Valaistusehdotuksen 2 valaisimen tiedot.

Kuviosta 9 näkyy valaisimien sijoittelu valaistusratkaisussa 2. Ensimmäisessä ja neljännessä rivissä on 24 valaisinta ja keskimmaisissa riveissä on 12 valaisinta. Tällä valaisinsijoittelulla saadaan enemmän valoa seinän vieruksille työtasoille ja vähemmän käytävälle.



KUVIO 9. Valaistusratkaisun 2: isolux-kuvaaja.

Tällä valaistusratkaisulla täyttyvät standardin vaatimukset valaistusvoimakkuuden ja valaistustasaisuuden suhteen kaikilla työpisteillä. Valaistusvoimakkuuden keskiarvoksi tulee suurimmillaan 573 lx ja pienimmillään 503 lx. Valaistuksentasaisuus on suurimmillaan 0,897 ja pienimmillään 0,840. Valaistusratkaisulla UGR-luku on suurimmillaan 15. LENI-luvuksi toimistoon tulee tällä ratkaisulla 8,85  $W/m^2$ . Koko tilan valaistusvoimakkuuslaskelmat ja LENI-luku on esitettyinä taulukossa 11.

## TAULUKKO 11. Valaistusratkaisun 2 tulokset.

Tilan korkeus: 2.600 m, Asennuskorkeus: 2.600 m

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:300

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	518	57	701	0.110
Lattia	20	259	19	478	0.072
Katto	70	148	70	300	0.475
Seinät (10)	52	252	22	1294	/

**Käyttötaso:**

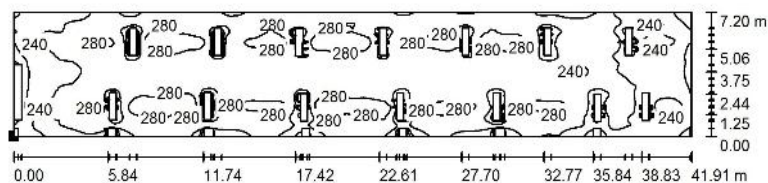
Korkeus: 0.850 m  
 Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
 Reuna-alue: 0.250 m

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	72	36W (1.000)	2832	2830	37.1
Yhteensä:			203879	203731	2671.2

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $8.85 \text{ W/m}^2 = 1.71 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $301.86 \text{ m}^2$ )

Toimiston valaistusratkaisulla 2 lasketut sylinterivalaistusvoimakkuudet näkyvät kuvassa 17. Tällä ratkaisulla standardin antamat vaatimukset täyttyvät sylinterivalaistusvoimakkuuden ja tasaisuuden suhteen.

**Toimisto / Laskettava pinta 1 / Isolux-käyrät (E, sylinteri)**

Pinnan sijainti tilassa:  
 Merkitty piste: (13.579 m, 13.759 m, 1.200 m)

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 300



Rasteri: 128 x 128 Pisteet

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
255	135	312	0.529	0.433

KUVA 17. Valaistusratkaisun 2 sylinterivalaistusvoimakkuuslaskelmien tulokset.

#### 7.1.4 Korvaavien LED-valaisimien ratkaisu

Toimistolle olisi luultavasti ollut järkevin valaistusratkaisu uusia vain nykyisten valaisimien valonlähteet, vaihtamalla ne korvaaviksi LED-putkiksi. Tällä toteutuksella olisi saatu hyödynnettyä nykyiset valaisimet elinkaarensa loppuun asti. Laskelmia ja toteutusta tästä valaistusratkaisusta ei ole työssä esitetty, sillä valonlähteen mallintaminen kyseisessä valaisimessa ei onnistunut puutteellisten DIA-Lux-tietokantojen takia. Kuitenkin voin todeta, että tällä ratkaisulla olisi alhaisimmat investointikustannukset, ottaen huomioon uusien valoputkien hankkimisen, asentamisen ja sytyttimien vaihdon. Toiseksi ongelmaksi muodostui nykyisien valaisimien ”elinkaaren määrittely”, sillä niiden elinikää on vaikea ennustaa. Jos ne kuitenkin kestäisivät esimerkiksi 10 vuotta, olisi LED-valoputket vielä toimintakuntoisia, mutta kehityksen takia ne olisi jo varmasti kustannustaloudellista syistä järkevät korvata.

#### 7.1.5 Kustannuslaskelmat toimiston valaistusratkaisuille

Toimiston kustannuslaskelmat olen laskenut 2500 tunnin valaistuksen polttoajalla. Tämä vastaa toimistojen normaalin virka-ajan polttoaikaa vuositasolla. Toimiston valaistuskustannukset on laskettu pitoajalle 20 vuotta. Tuolloin LED-valaisimien käyttöikä tulee täyteen. Toimiston laskentaan käytetään laskentakorkoa 3 % ja inflaatiolle vertailuarvoa 1 %. Sähkön hinnalle annoin hinnaksi 0,10 €/kWh ja hinnan kasvun ennusteeksi 1 %. Sähkön hintaa ja sen korkoa muuttamalla voidaan saada isoja eroja kustannuksien vertailussa. Sähkön hinta riippuu kiinteistöstä johon sitä toimitetaan, joten todellisten tuloksien saavuttamiseksi pitäisi tietää kohteen sähkösopimuksen tiedot. Sähköhinnoittelun periaatteisiin en sen tarkemmin työssä syvenny, mutta totean sillä olevan suuren vaikutuksen työn tuloksiin kannalta. Esimerkiksi työssäni valaistusratkaisua vaihtamalla säästää sitä enemmän, mitä kalliimpaa sähkön hinta on.

Hiilidioksidi päästöjen laskentaan olen käyttänyt vakioarvoa 0,415 kg CO<sub>2</sub>/kWh. Uuden valaistuksen asennukseen olen käyttänyt Suomen LED-valaisimet oy:n hinnastoa, jolla asennukset toteutettaisiin asiakkaalle. Alkuperäisen valaistuksen valonlähteiden vaihdon hinnaksi arvioin nettihinnastoja selaillemalla 2,5 €/lamppu ja siihen työtä 25 €. Valaisimien valonlähteen vaihtokustannuksiin vaikuttaa valaisimen rakenne, vaihto ympäristö ja lampputyyppi. Vaihdettaessa kaikki valonlähteet yhtä aikaa saadaan hintaa alaspäin yhtä valon lähdettä kohden, mutta yleensä lamput vaihdetaan vasta kun ne ovat elinkaarensa lopussa. Valaistuskustannuslaskennoissa valaistuksen huoltovälillä on myös iso merkitys, toimisto kohteissa valaisimet eivät kuitenkaan likaannu niin helposti kuin esimerkiksi teollisuushalleissa.

Taulukosta 12 näkee, että valaistusratkaisulla 1 saavutetaan pitoajalla 7440 € säästö. Tämä ratkaisu on edullisempi kuin alkuperäisvalaistus tai ratkaisu 2. Ratkaisulla 2 saadaan 5789 € säästö alkuperäisvalaistukseen nähden. Vuosittaisessa sähkönkulutuksessa energiakustannuksia aiheutuu alkuperäisellä valaistuksella 1206 €, ensimmäisellä ratkaisulla 655 € ja toisella ratkaisulla 668 €. Valaistuksen vaihdolla saavutetaan sähkönkulutuksessa siis vajaan 600 € säästö vuodessa. Ratkaisujen 1 ja 2

välillä vuotuisessa sähkönkulutuksessa ei tule eroa kuin 13 € ratkaisun 1 hyväksi. Investointikustannukset ovat kuitenkin toisella ratkaisulla 1140 € enemmän kuin ensimmäisellä ratkaisulla. Valaistuslaskelmissa alkuperäisen valaistuksen valonlähteet on oletettu juuri vaihdettaviksi, jotta niiden tarkka elinkaari saadaan laskettua.

Toimiston valaistusratkaisujen prosentuaaliset kustannukset ovat esitettyinä työn liitteessä 1.

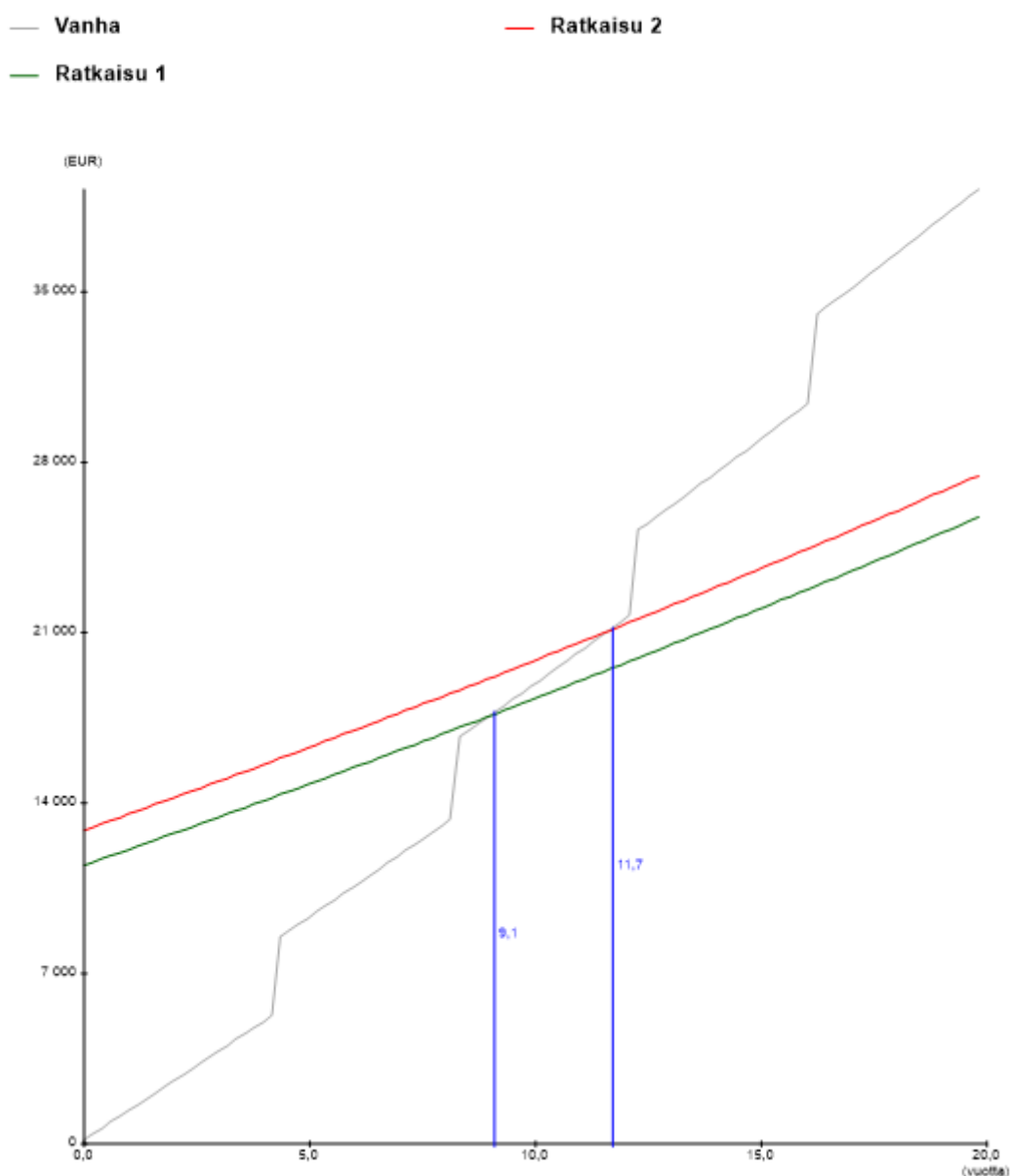
TAULUKKO 12. Kustannuslaskelmat eri valaistusratkaisuille.

### Valaistusratkaisujen kustannusvertailu

<b>Yleiset tiedot</b>	<b>Vanha</b>	<b>Ratkaisu 1</b>	<b>Ratkaisu 2</b>
Nykyinen valaistusratkaisu (vertailuratkaisu)	Nykyinen valais...		
Valaisintyyppien lukumäärä	1	1	1
Valaisintyyppi	36 - Classic	72 - 600x600 Pa...	72 - 1200x300 P...
Lampputyyppi	Philips TL-D 58W	LED	LED
Valaisimien lukumäärä	36	72	72
Valonlähteiden kokonaismäärä	72	72	72
<b>Investointikustannukset</b>			
Valaisimen kokonaiskustannus	0 EUR	10 728 EUR	12 168 EUR
Valonlähdekustannukset yhteensä	180 EUR	0 EUR	0 EUR
Asennuskustannukset yhteensä	0 EUR	0 EUR	0 EUR
Materiaali- ja työkustannukset yhteensä	0 EUR	720 EUR	720 EUR
<b>Investointi</b>	<b>180 EUR</b>	<b>11 448 EUR</b>	<b>12 888 EUR</b>
<b>Energiakustannukset</b>			
Valaistusratkaisun kokonaisteho	4,8 kW	2,6 kW	2,7 kW
Keskimääräinen käyttökerroin	100,0 %	100,0 %	100,0 %
Teho yhteensä	4,8 kW	2,6 kW	2,7 kW
Keskimääräinen toiminta-aika	2 500 h/vuotta	2 500 h/vuotta	2 500 h/vuotta
Energiankulutus vuodessa	12,1 MWh	6,6 MWh	6,7 MWh
Sähkön hinta	0,1 EUR/kWh		
Energiakustannukset vuodessa	1 206 EUR	655 EUR	668 EUR
<b>Energiakustannusten nykyarvo</b>	<b>20 149 EUR</b>	<b>10 947 EUR</b>	<b>11 157 EUR</b>
<b>Valonlähdekustannukset</b>			
Valonlähteen nimi	Philips TL-D 58W	LED	LED
Valonlähteiden kokonaismäärä	72	72	72
Valonlähteiden vaihtokustannukset yhtee...	1 980 EUR	11 448 EUR	12 888 EUR
<b>Valonlähdekustannusten nykyarvo</b>	<b>6 535 EUR</b>	<b>0 EUR</b>	<b>0 EUR</b>
<b>Huoltokustannukset</b>			
Huoltokustannukset yhteensä	900 EUR	1 800 EUR	1 800 EUR
<b>Huoltokustannusten nykyarvo</b>	<b>2 970 EUR</b>	<b>0 EUR</b>	<b>0 EUR</b>
<b>Valaistusratkaisun nykyarvo</b>	<b>29 834 EUR</b>	<b>22 395 EUR</b>	<b>24 045 EUR</b>
<b>Kriittinen piste (nykyarvo...)</b>	<b>- vuotta</b>	<b>12,0 vuotta</b>	<b>12,0 vuotta</b>
<b>Tuotto</b>	<b>0 EUR</b>	<b>7 440 EUR</b>	<b>5 789 EUR</b>

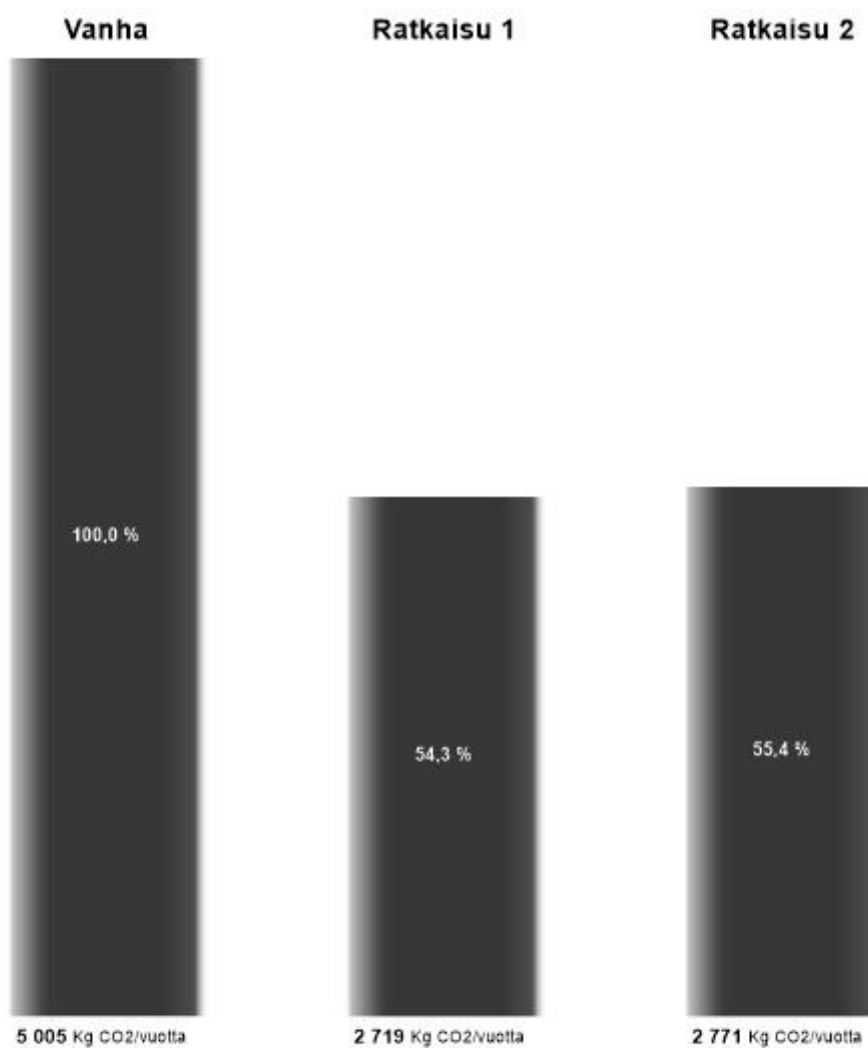
Kuviosta 10 näkee, että ratkaisu 1 maksaa itsensä takaisin 9,1 vuodessa ja ratkaisu 2 maksaa itsensä takaisin 11,7 vuodessa. Taulukossa 12 on kerrottu kriittiseksi pisteeksi 12 vuotta, jolloin alkuperäisen valaistuksen valonlähteet tulevat elinkaaren loppuun ja ne on vaihdettava. Tällöin syntyy jo niin merkittävä säästö valaistusratkaisua vaihtamalla, että vaihto kannattaa toteuttaa.

### Kustannuskehitys (vertailu).



KUVIO 10. Kustannusten kuvaaja, johon on merkitty valaistuksen takaisinmaksuaika.

Kuviossa 11 on esitetty valaistuksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt. Kuvion perusteella voidaan todeta, että uudet valaistusratkaisut aiheuttavat lähes puolet vähemmän päästöjä 54,3 % ja 55,4 % kuin alkuperäiset. Tästä syystä valaistuksen vaihtaminen on järkevää jo pelkästään ympäristönkin kannalta, eikä vain kustannusten takia.

**CO<sub>2</sub>-muodostus****CO<sub>2</sub> - muodostus/vuosi**

Energiankulutus vuodessa

**Vanha**

12,06 MWh

**Ratkaisu 1**

6,55 MWh

**Ratkaisu 2**

6,68 MWh

CO<sub>2</sub> kerroin0,415 kg CO<sub>2</sub>/KWh**CO<sub>2</sub> - muodostus/vuosi**5 005 kg CO<sub>2</sub>/vuotta2 719 kg CO<sub>2</sub>/vuotta2 771 kg CO<sub>2</sub>/vuotta

KUVIO 11. Hiilidioksidipäästöjen vertailu.

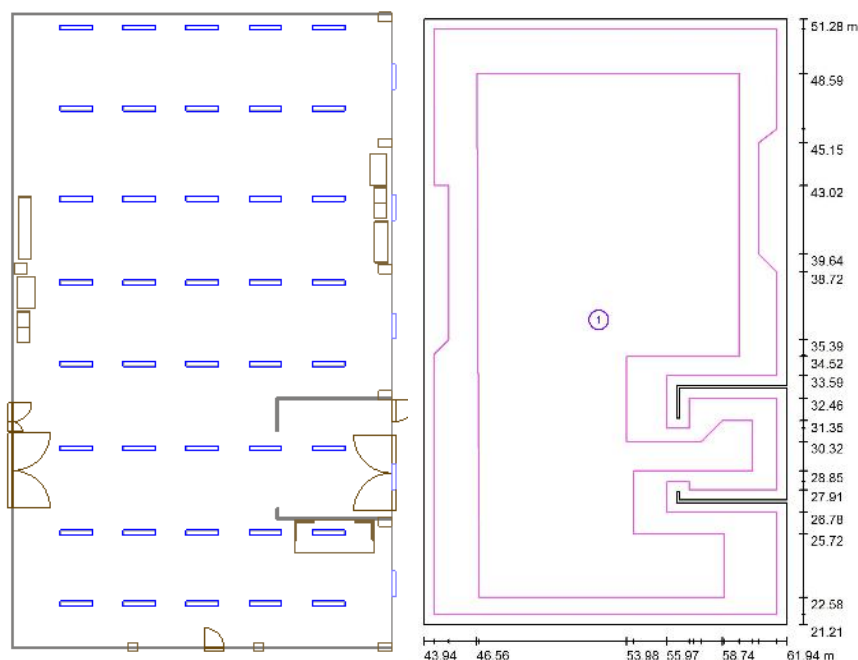


## 7.2 Teollisuushalli

Teollisuushallin pohjakuva on mallinnettuna alkuperäisvalaistuksella kuvissa 18 ja 19. Hallin pinta-ala on  $540\text{ m}^2$ , se on 10 m korkea ja valaistus on 9 m korkeudella. Valaistus on toteutettu IP65-koteloituluokan valaisimilla käyttämällä Philips 2 x 58 W T8-loisteputkia, jotka näkyvät kuvassa 20. IP65-kotelointi mahdollistaa valaisinten pesemisen, joten se helpottaa valaistuksen huoltoa. Hallissa tehdään seisomatyötä koko tilan alueella. Seisomatyössä valaistusvoimakkuus lasketaan 1,6 m korkeudelle. Laskelmissa jätetään huomioimatta reuna-alueet 0,5 m seinistä. Tilassa on erilaisia kaappeja ja hyllyjä sekä pöytätaso. Valaisinehdotuksissa valaisinrivit on sijoitettava samoille kohdille kuin alkuperäisvalaistuksessa, valaisimien lukumäärät ja sijainnit riveissä voivat kuitenkin vaihdella. Teollisuushallin huoltoväliksi määritin 3 vuotta ja alenemakertoimenä käytin 0,8:aa.

Tein halliin kolme valaistusratkaisua. Teollisuushallin valaistusratkaisussa 1 on suunniteltu keskimäärin  $300\text{ lx}$  koko tilan käyttötasolle. Ratkaisu 2 on suunniteltu energiaa säästävämmin kuin valaistusratkaisu 1, sillä siinä on  $300\text{ lx}$  vain työalueella, ei koko tilassa. Valaistusratkaisu 3 on suunniteltu siten, että työalueen valaistusvoimakkuus on nostettu  $400\text{ lx}$ :iin.

Teollisuushallin mallinuksissa lattian rakenne on määritetty betoniksi ja tällöin ohjelma antaa sille heijastussuhdearvon 27 %. Seinät ovat harmaaksi maalattua terästä ja niille ohjelma antaa arvoksi 50 %. Katon arvoksi ohjelma määrittää vakiona 70 %, jota käytin laskennoissa.

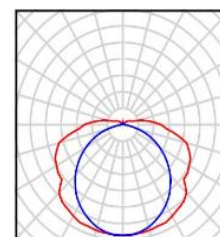


KUVA 18. Vasemmalla on teollisuushallin pohjakuva ja oikealla työalue määritettynä.



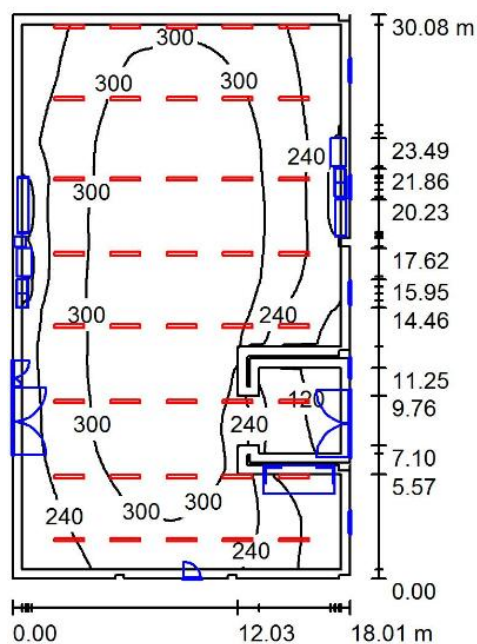
KUVA 19. 3D-mallinus hallista.

ELEKTROSKANDIAFI 4321642  
 Certus/2x58W/akryyli/HF  
 Tavaranumero: 4321642  
 Valovirta (Valaisin): 7261 lm  
 Valovirta (Lamput): 10400 lm  
 Valaisimien teho: 108.0 W  
 Valaisinten luokittelu CIE: 90  
 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 38  
 67 87 90 70  
 Varustus: 2 x Philips TL-D 58W (Korjaustekijä  
 1.000).



KUVA 20. Alkuperäisvalaisimen tiedot

Kuten kuviosta 12 näkee, alkuperäisvalaistuksessa on 40 valaisinta. Valaisimet on sijoitettu siten, että ne ovat kahdeksassa rivissä, joissa jokaisessa on viisi valaisinta. Tilassa yksi valaisinrivistö on melkein kiinni seinässä, joten uusissa valaistusratkaisuissa tilan valaistus pyritään toteuttamaan ilman kyseistä riviä.



KUVIO 12. Isolux-kuvaaja alkuperäisellä valaistuksella.

Taulukossa 13 näkyy alkuperäisvalaistuksella laskettu koko tilan valaistusvoimakkuus ja sen tasaisuus. Tila saa tällä valaistuksella keskimääräisen valaistusvoimakkuuden 273 lx ja tasaisuuden 0,36.

Kuten taulukon 14 tuloksista näkee, alkuperäinen valaistusratkaisu on standardinmukainen. Valaistusvoimakkuuden keskiarvon vaatimus 300 lx ylittyy, ja valaistustasaisuus on yli 0,4 työalueella. Tässä tapauksessa kuitenkin voidaan hivenen poiketa arvosta, koska työalueeksi määritetään hallin koko keskeinen osa. Hallin LENI-luvuksi tulee tällä ratkaisulla  $8,0 \text{ W/m}^2$ .

Alkuperäisvalaistuksella UGR-luvuksi tulee koko tilan työalueella korkeudella 1,6 m maksimissaan 23. Standardin kehoituksena on vastaavanlaiselle työskentelyhallille suositus 25. Työssä en voi paljastaa hallin tarkkaa käyttötarkoitusta.

TAULUKKO 13. Alkuperäisvalaistuksen laskentatulokset.

Tilan korkeus: 10.000 m, Asennuskorkeus: 9.000 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:387

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	273	99	349	0.360
Lattia	27	232	35	313	0.150
Katto	70	101	51	159	0.505
Seinät (21)	50	169	28	1330	/

**Käyttötaso:**

Korkeus: 1.600 m  
 Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
 Reuna-alue: 0.500 m

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	40	ELEKTROSKANDIAFI 4321642 Certus/2x58W/akryyli/HF (1.000)	7261	10400	108.0
Yhteensä: 290458			Yhteensä: 416000		4320.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $8.00 \text{ W/m}^2 = 2.93 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $539.87 \text{ m}^2$ )

TAULUKKO 14. Työalueen valaistusvoimakkuudet alkuperäisillä valaisimilla.

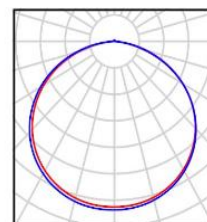
Numero	Tunnus	Rasteri	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
	Työalue 1	32 x 16	305	134	350	0.440	0.384
	Ympäröivä alue	32 x 32	230	99	329	0.433	0.302

## 7.2.1 Valaistusratkaisu 1

Valaistusratkaisulla 1 pyritään saamaan koko tilan käyttötasolle 300 lx valaistusvoimakkuus. Valaisimina tässä ratkaisussa käytin 180 W High bay light (HBL) -valaisimia. HBL -valaisimet näkyvät kuvassa 21. HBL -valaisimet ovat koteloitiluokaltaan myös IP65-hyväksytyjä, kuten tilan alkuperäiset valaisimetkin.

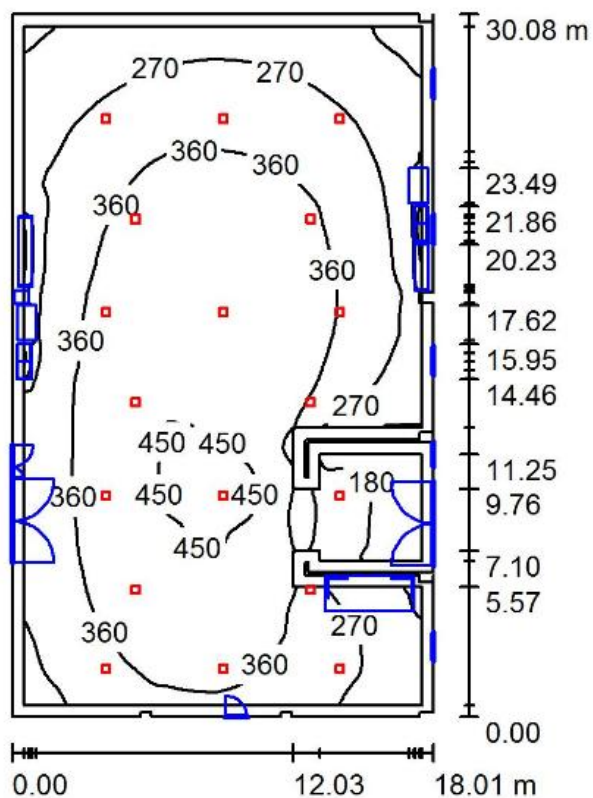
IS500-W180  
 Tavaratunnus: IS500-W180  
 Valovirta (Valaisin): 16686 lm  
 Valovirta (Lamput): 16686 lm  
 Valaisimien teho: 196.2 W  
 Valaisinten luokittelu CIE: 99  
 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 45  
 77 96 99 100

Löydät valaisimen kuvan valaisinluettelosta.



KUVA 21. HBL 180 W:n valaisimen tiedot.

Kuviosta 13 näkee valaisimien sijoittelun valaistusratkaisussa 1. Ratkaisussa on yhteensä 18 valaisinta siten, että vuororivein on 2 ja 3 valaisinta.



KUVIO 13. Valaistusratkaisu 1 isolux-kuvaaja.

Taulukossa 15 on laskettuna ratkaisulla 1 saadut koko tilan valaistusvoimakkuudet. Talukosta 16 näkee, että valaistusvoimakkuudeksi tulee työalueella yli 300 lx ja myös tasaisuusvaatimus 0,4 täyttyy. LENI-luvuksi hallille tulee tällä ratkaisulla  $6,54 \text{ W/m}^2$ .

UGR-luvuksi tulee suurimmillaan tällä valaistuksella 25 - 29 tarkastellessa 1,6 m korkeudella katselusuunnan ja koordinaattien mukaan. Tilan valaisimiin olisi syytä laittaa häikäisysoojakulmat, jos valaistus aiheuttaa kiusahäikäisyä työpisteillä. Häikäisysoojakulmina voidaan käyttää esimerkiksi ritilöitä tai valonlähteen ympärille asennettavia kauluksia.

## TAULUKKO 15. Valaistusratkaisu 1 tulokset.

Tilan korkeus: 10.000 m, Asennuskorkeus: 9.000 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:387

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	333	62	462	0.187
Lattia	27	281	32	415	0.115
Katto	70	81	49	138	0.613
Seinät (21)	50	162	21	3679	/

**Käyttötaso:**

Korkeus: 1.600 m  
 Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
 Reuna-alue: 0.500 m

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	18	IS500-W180 (1.000)	16686	16686	196.2
Yhteensä:			300345	Yhteensä: 300344	3531.6

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $6.54 \text{ W/m}^2 = 1.97 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $539.87 \text{ m}^2$ )

## TAULUKKO 16. Valaistusratkaisu 1 työalueen tulokset.

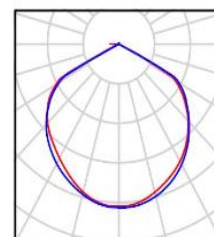
Numero	Tunnus	Rasteri	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
	Työalue 1	64 x 32	374	173	464	0.463	0.373
	Ympäröivä alue	64 x 64	268	131	458	0.490	0.287

## 7.2.2 Valaistusratkaisu 2

Valaistusratkaisussa 2 käytetään HBL 100 W valaisimia 120 asteen valonjaolla. Käytetyt HBL - valaisimet ovat esiteltynä kuvassa 22. Valaistusratkaisulla 2 pyritään valaisemaan työalue 300 lx voimakkuudella.

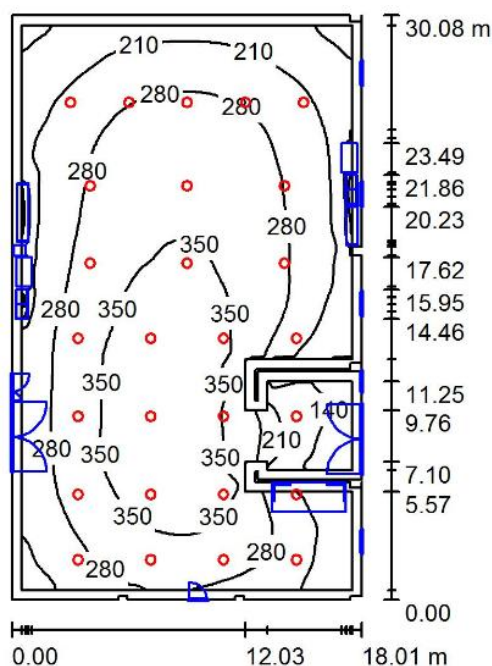
W100 120DEG  
 Tavarnumero: W100  
 Valovirta (Valaisin): 8322 lm  
 Valovirta (Lamput): 8323 lm  
 Valaisimien teho: 113.4 W  
 Valaisinten luokittelu CIE: 99  
 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 55  
 94 100 99 100

Löydät valaisimen kuvan  
 valaisinluettelosta.



KUVA 22. Valaistusratkaisu 2:n valaisimen tiedot.

Valaistusratkaisun 2 valaisimien sijoittelu ja valonjakautuminen tilassa näkyy kuviossa 14. Valaisimet ovat sijoiteltuina epäsymmetrisesti kuvan 30 mukaisesti.



KUVIO 14. Valaistusratkaisu 2:n isolux-kuvaaja.

Taulukossa 17 on taulukoituna koko tilan laskentatulokset valaistusratkaisulle 2. Kuten taulukosta 18 näkee, valaistusratkaisulla 2 saavutetaan työalueella 300 lx valaistusvoimakkuus ja tasaisuusvaatimus 0,4 täyttyä. Hallin LENI-luvuksi saadaan tällä ratkaisulla 5,67 W/m<sup>2</sup>. UGR-luvuksi tulee työalueella 1,6 m korkeudessa suurimmillaan 23.

TAULUKKO 17. Valaistusehdotus 2:n laskentatulokset.

Tilan korkeus: 10.000 m, Asennuskorkeus: 9.000 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:387

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	278	45	392	0.163
Lattia	27	237	24	353	0.102
Katto	70	57	35	104	0.609
Seinät (21)	50	104	15	2151	/

#### Käyttötaso:

Korkeus: 1.600 m  
Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
Reuna-alue: 0.500 m

#### Luettelo valaisimista

Número	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	27	W100 120DEG (1.000)	8322	8323	113.4
Yhteensä:			224705	Yhteensä: 224708	3061.8

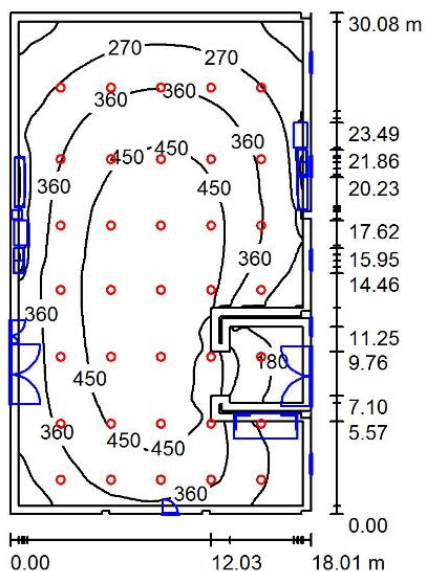
Ominainen verkkoon kytketty kuorma: 5.67 W/m<sup>2</sup> = 2.04 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Pohjapinta-ala: 539.87 m<sup>2</sup>)

TAULUKKO 18. Valaistusratkaisu 2:n työalueen tulokset.

Numero	Tunnus	Rasteri	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
	Työalue 1	64 x 32	314	136	394	0.433	0.345
	Ympäröivä alue	64 x 64	222	101	380	0.456	0.266

### 7.2.3 Valaistusratkaisu 3

Valaistusratkaisussa 3 työalueen valaistuksen nostaminen 400 lx toteutettiin kuvion 15 mukaisesti. Valaisimet ovat samat kuin ratkaisussa 2, mutta niitä olisi 7 riviä joissa jokaisessa olisi 5 valaisinta. Tällöin tilassa on 35 kappaletta valaisimia. Valaisimet on sijoitettuna samoille paikoille kuin alkupe-  
räisvalaistuksessa, lukuun ottamatta seinän vieressä olevaa riviä.



KUVIO 15. Valaistusratkaisu 3:n isolux-kuvaaja.

Taulukon 19 mukaisesti hallin LENI-luvuksi tulee tällä ratkaisulla  $7,35 \text{ W/m}^2$ . Taulukossa 19 on myös esitetty koko tilan valaistusvoimakkuus laskelmat. Valaistusratkaisun 3 työaluekohtaiset tulokset näkyvät taulukossa 20. Siinä standardin vaatimukset täyttyvät valaistusvoimakkuuden ja valontasaisuuden osalta. Tällä ratkaisulla UGR-luvuksi tulee työalueella 1,6 m korkeudessa suurimmillaan 23.



TAULUKKO 19. Valaistusratkaisu 3:n laskelmat.

Tilan korkeus: 10.000 m, Asennuskorkeus: 9.000 m, Huoltokerroin: 0.80 Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:387

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	363	71	513	0.194
Lattia	27	309	29	461	0.093
Katto	70	74	43	126	0.583
Seinät (21)	50	133	19	2159	/

**Käyttötaso:**

Korkeus: 1.600 m  
 Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
 Reuna-alue: 0.500 m

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	35	W100 120DEG (1.000)	8322	8323	113.4
Yhteensä:			291285	Yhteensä: 291288	3969.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $7.35 \text{ W/m}^2 = 2.03 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $539.87 \text{ m}^2$ )

TAULUKKO 20. Valaistusratkaisu 3:n työalueen valaistuskalkelmat.

Numero	Tunnus	Rasteri	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
	Työalue 1	64 x 32	413	174	514	0.422	0.339
	Ympäröivä alue	64 x 64	283	127	496	0.450	0.257

## 7.2.4 Kustannuslaskelmat teollisuushallin valaistusratkaisuille

Taulukossa 21 teollisuushallikohteen valaistus on laskettu 12,5 vuoden ajalle jolloin LED-valaisimien 50 000 käyttötuntia tulee täyteen. Valaistuksen on laskettu palavan 4000 h vuodessa. Tässä teollisuushallissa valaisimien vaihtaminen ja huoltaminen on hankalaa (valaisimet 9 m korkeudella), joten niiden huoltamiseksi kotelointiluokka IP65 mahdollistaa pesurilla pesemisen, mutta valonlähteen vaihtaminen on silti hankalaa. Siksi valaistusratkaisuissa olikin tärkeää käyttää pitkän polttoajan omaavia lamppeja. Valonlähteen huoltaminen tai vaihtaminen voi seisauttaa työn tekemisen teollisuushallissa, joten siitä voi syntyä suuria lisäkustannuksia joita ei ole laskelmissa huomioitu. Tällaiset kustannukset ovat tapauskohtaisia.

Taulukosta 21 näkee, että säästöä syntyy alkuperäisvalaistukseen verrattessa ensimmäisellä ratkaisulla 7913 €, toisella ratkaisulla 9631 € ja kolmannella ratkaisulla 2697 €. Säästöä syntyy siis myös työalueen valaistusvoimakkuutta nostamalla 100 lx, sillä ratkaisulla 3 säästää 12,5 vuodessa 2697 €. Investoinnin kannalta alkuperäiseen valaistukseen on laskettu valonlähteiden uusiminen, jotta valonlähteen ikä saadaan vertailukelpoiseksi. Valaistuksen asennus- ja vaihtokustannuksina on käytetty samoja arvoja kuin toimistonlaskelmissa. Todellisuudessa valonlähteen vaihtokustannukset voivat olla hivenen korkeammat tässä kohteessa kuin toimistossa. Asennuskustannuksissa eroa ei synny, sillä käytettyjen ratkaisujen valaisimet saadaan helposti kiinnitettyä koukuilla kiinni asennuskiskoihin.

Vuotuista energian säästöä alkuperäisvalaistukseen syntyy ensimmäisellä ratkaisulla 536 €, toisella ratkaisulla 695 € ja kolmannella ratkaisulla 322 €.

Teollisuushallin valaistusratkaisujen prosentuaaliset kustannukset ovat esitettyinä työn liitteessä 2.

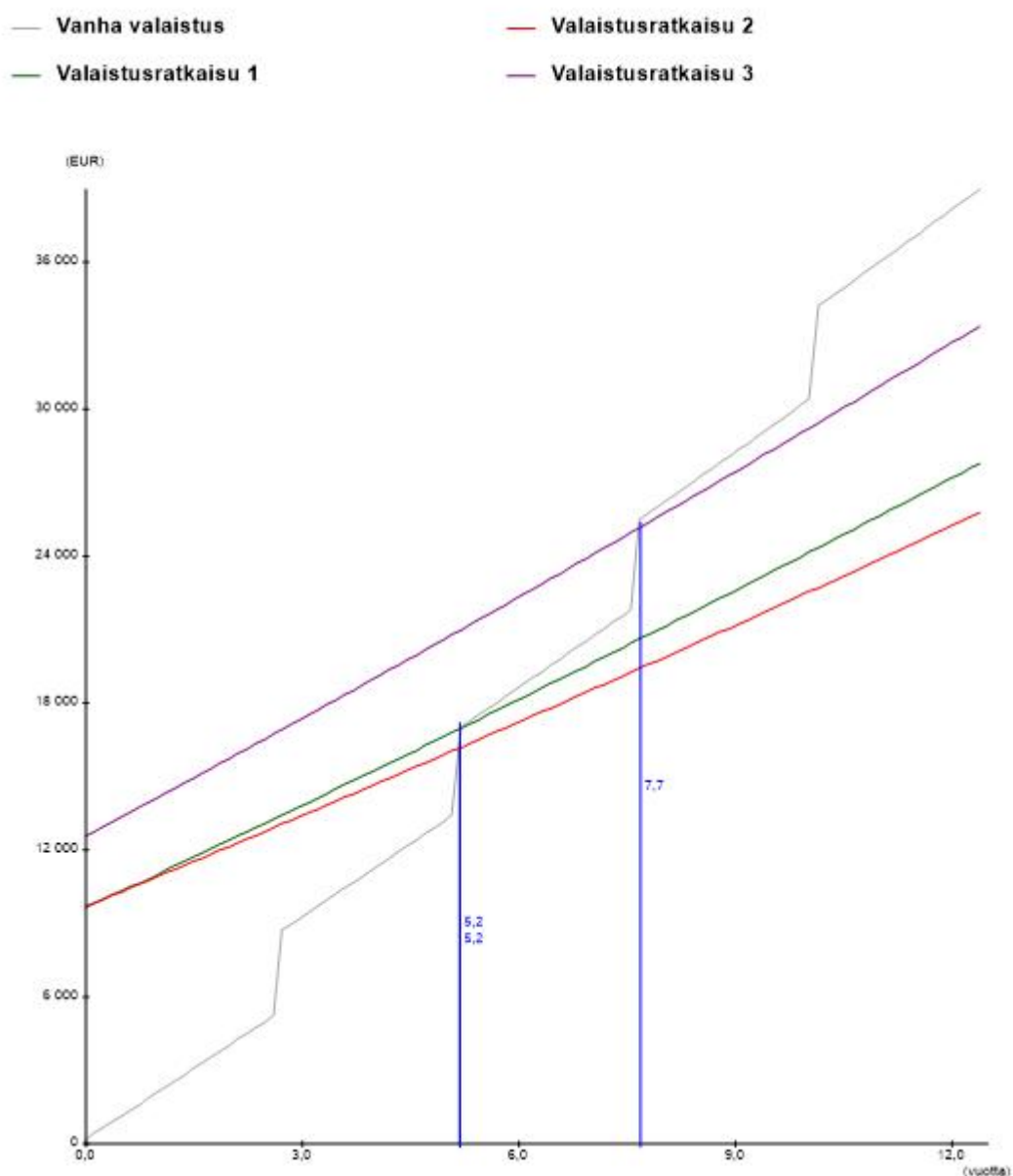
TAULUKKO 21. Kustannuslaskelmat teollisuushalliin eri valaistusratkaisuilla.

### Valaistusratkaisujen kustannusvertailu

<b>Yleiset tiedot</b>	<b><i>Vanha valaistus</i></b>	<b>Valaistusratkaisu 1</b>	<b>Valaistusratkaisu 2</b>	<b>Valaistusratkaisu 3</b>
Nykyinen valaistusratkaisu (vertailu...)	Nykyinen val...			
Valaisintyyppi	1	1	1	1
Valaisintyyppi	40 - Elektrolux	18 - HBL 180W	27 - HBL 100W	35 - HBL 100W
Lampputyyppi	T8	LED	LED	LED
Valaisimien lukumäärä	40	18	27	35
Valonlähteiden kokonaismäärä	80	18	27	35
<b>Investointikustannukset</b>				
Valaisimen kokonaiskustannus	0 EUR	9 450 EUR	9 423 EUR	12 215 EUR
Valonlähdekustannukset yhteensä	200 EUR	0 EUR	0 EUR	0 EUR
Asennuskustannukset yhteensä	0 EUR	0 EUR	0 EUR	0 EUR
Materiaali- ja työkustannukset yht...	0 EUR	180 EUR	270 EUR	350 EUR
<b>Investointi</b>	<b>200 EUR</b>	<b>9 630 EUR</b>	<b>9 693 EUR</b>	<b>12 565 EUR</b>
<b>Energiakustannukset</b>				
Valaistusratkaisun kokonaisteho	4,8 kW	3,5 kW	3,1 kW	4 kW
Keskimääräinen käyttökerroin	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %
Teho yhteensä	4,8 kW	3,5 kW	3,1 kW	4,0 kW
Keskimääräinen toiminta-aika	4 000 h/vuotta	4 000 h/vuotta	4 000 h/vuotta	4 000 h/vuotta
Energiankulutus vuodessa	19,2 MWh	13,8 MWh	12,2 MWh	15,9 MWh
Sähkön hinta	0,1 EUR/kWh			
Energiakustannukset vuodessa	1 920 EUR	1 384 EUR	1 225 EUR	1 588 EUR
<b>Energiakustannusten nyky...</b>	<b>21 494 EUR</b>	<b>15 492 EUR</b>	<b>13 711 EUR</b>	<b>17 773 EUR</b>
<b>Valonlähdekustannukset</b>				
Valonlähteen nimi	T8	LED	LED	LED
Valonlähteiden kokonaismäärä	80	18	27	35
Valonlähteiden vaihtokustannukset...	2 200 EUR	9 630 EUR	9 693 EUR	12 565 EUR
<b>Valonlähdekustannusten nyky...</b>	<b>7 797 EUR</b>	<b>0 EUR</b>	<b>0 EUR</b>	<b>0 EUR</b>
<b>Huoltokustannukset</b>				
Huoltokustannukset yhteensä	1 000 EUR	450 EUR	675 EUR	875 EUR
<b>Huoltokustannusten nyky...</b>	<b>3 544 EUR</b>	<b>0 EUR</b>	<b>0 EUR</b>	<b>0 EUR</b>
<b>Valaistusratkaisun nyky...</b>	<b>33 035 EUR</b>	<b>25 122 EUR</b>	<b>23 404 EUR</b>	<b>30 338 EUR</b>
<b>Kriittinen piste (nyky...</b>	<b>- vuotta</b>	<b>6,9 vuotta</b>	<b>5,3 vuotta</b>	<b>10,0 vuotta</b>
<b>Tuotto</b>	<b>0 EUR</b>	<b>7 913 EUR</b>	<b>9 631 EUR</b>	<b>2 697 EUR</b>

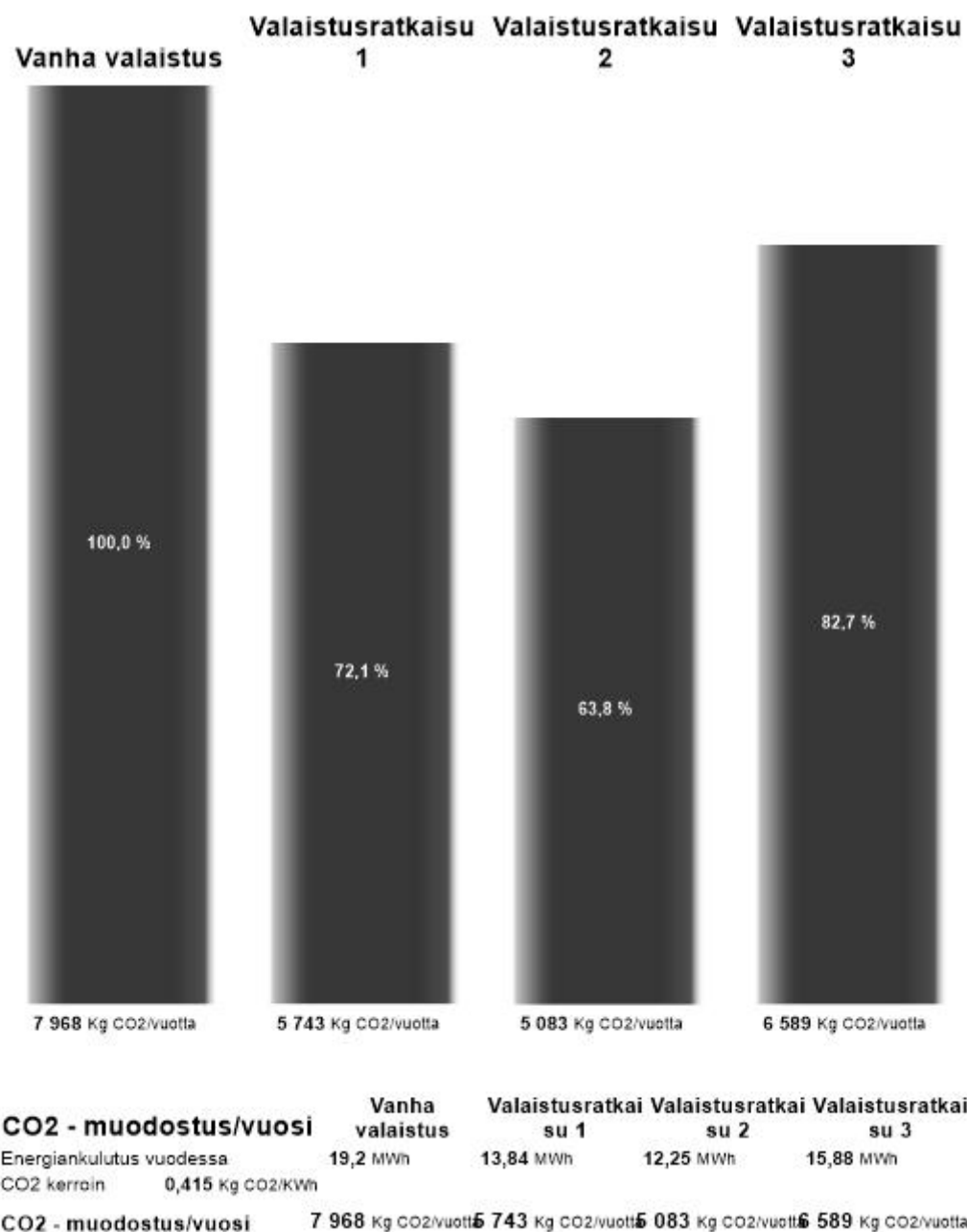
Kuviosta 16 näkee, että valaistusratkaisut 1 ja 2 maksavat itsensä takaisin 5,2 vuodessa ja ratkaisu 3 maksaa itsensä takaisin 7,7 vuodessa. Taulukossa 21 näkyvät kriittiset pisteet ovat eri aikaan jokaisessa valaistusratkaisussa. Kriittinen piste on ensimmäisellä ratkaisulla 6,9 vuotta, toisella ratkaisulla 5,3 vuotta ja kolmannella ratkaisulla 10 vuotta. Kriittisellä pisteellä tarkoitetaan aikaa, jolloin valaistusratkaisun vaihtaminen on kannattavaa.

### Kustannuskehitys (vertailu).



KUVIO 16. Kustannusten kuvaaja, johon on merkitty valaistuksen takaisinmaksuaika.

Kuviosta 17 näkee, että hiilidioksidipäästöt putoavat valaistusratkaisua vaihtamalla. Eniten päästöjä vähentää alkuperäiseen valaistukseen nähden ratkaisu 2 (63,8 % alkuperäisestä) ja vähiten ratkaisu 3 (82,7 % alkuperäisestä).



KUVIO 17. Eri valaistusratkaisujen hiilidioksidipäästö-kuvaajat.

## 8 YHTEENVETO

Työn tavoitteet täyttyivät ja valaistuksen muuttaminen taloudellisemmaksi onnistuu useilla eri vaihtoehdoilla. Nyt asiakas voi valita itselleen mieluisimman valaistusratkaisun ja Suomen Led-valaisimet Oy voi toteuttaa sen työn pohjalta.

LED-valaisimet yleistyvät ja kehittyvät nopeasti. Niiden hinta laskee ja laatu paranee jatkuvasti. Siksi esimerkiksi työn kustannuslaskelmissa ei kannattanut lähteä tutkimaan ratkaisuja valaisimen vaihtamisen jälkeiselle ajalle, koska tekniikka on kehittynyt tuolloin valtavasti. Esimerkiksi toimiston valaistuslaskelma on tehty 20 vuodelle, mutta se todennäköisesti kannattaa uusia jo ennen sitä. Kun miettii mennyttä aikaa (tekniikka 20 vuotta sitten) ja nykyisen tekniikan kehitysvauhtia, tulee kustannuslaskelmat tehdä aina ajan tekniikan mukaisesti.

Työssä sivuttiin väyläohjaustekniikoita, joita käyttämällä saadaan säästettyä energiaa. Uskon niiden yleistyvän tulevaisuudessa, kunhan investointikustannukset laskevat ja tekniikka kehittyy. Niiden takaisinmaksuajat ovat nykyisin vielä niin pitkiä, että niiden investointi ei tullut ajankohtaiseksi tähän työhön.

Teollisuudessa ja autoilussa on alettu rajoittamaan päästöjä. Jos samaa linjaa jatketaan, energiankulutus kallistuu ja yksityisten ihmisten ekologisuuteen panostetaan aiheuttaen kustannuksia. Tällöin ihmiset alkavat entistä enemmän kiinnittää huomiota valaistuksen taloudellisuuteen ja myös lämmitykseen. Nykytrendinä on ollut viilentää asuntoja, toimistoja ja työpaikkoja. Uskon LED-valaistuksen vähentävän myös tarvetta kiinteistön jäähdytykseen, koska valaisimista ei aiheudu turhaa lämpöä ympäristöön. Tällä saadaan myös säästöjä, joita ei ole työssä laskettu.

Laskelmissa syntynyt epätarkkuus esimerkiksi heijastuspinnoissa ei vaikuta tulokseen, sillä ratkaisujen ja alkuperäisten valaistusten heijastuskertoimet ovat samat. Olen yrittänyt tehdä työn mahdollisimman puolueettomasta näkökulmasta, jotta tulokset olisivat realistisemmat. Olen pyrkinyt käyttämään mahdollisimman oikeudenmukaisia ja vaativia kriteereitä, jotta tulokset olisivat oikeat huonimmissakin olosuhteissa. Esimerkiksi teollisuushallissa valaisinlähteen vaihdosta voi aiheuta työnseisausta. Olettamalla näin tapahtuvan joka kerta, saadaan valaisinten valonlähteen vaihdolle suhteettoman kova hinta, joka vääristää tulosta.

## LÄHTEET

DESKI 14.11.2012. Led-valaisimet yleistyvät julkisissa tiloissa. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2014-04-15.] Saatavissa: <http://deski.fi/9/9/valo-luo-tilan-ja-tunnelman-led-valaisimet-yleistyvat-julkisissa-tiloissa-15496#&panel1-1>

FAGERHULT 2012-2013. INDOOR LIGHTNING SOLUTIONS. [Luettelo]. [Viitattu 2014-03-21.] Saatavissa: <http://np.netpublicator.com/netpublication/n60965222>

HUTASU. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2014-03-27.] Saatavissa: [http://www.hutasu.net/index.php?sivu\\_id=21&parent=1](http://www.hutasu.net/index.php?sivu_id=21&parent=1)

KTM 2007. EU:n yksipuolinen päästöjen rajoittaminen ja kehittyneiden maiden yhteinen päästöjen rajoittaminen. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 15-04-25.] Saatavissa: [http://ktm.elinar.fi/ktm\\_jur/ktmjur.nsf/all/46204F038750F5A0C22573840028B45E?opendocument](http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/all/46204F038750F5A0C22573840028B45E?opendocument)

MOTIVA 2006. Toimiston sähkönkäyttö. [PDF -dokumentti]. [Viitattu 2014-03-25.] Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/1776/Toimistonsahkonkayttokalvot\\_final.pdf](http://www.motiva.fi/files/1776/Toimistonsahkonkayttokalvot_final.pdf)

MOTIVA 2014. Uudesta energiamerkistä apua valaisimen valintaan. [Tiedote]. [Viitattu 2014-03-25.] Saatavissa: [http://www.motiva.fi/ajankohtaista/motivan\\_tiedotteet/2014/motiva\\_ja\\_turvallisuus\\_ja\\_kemikaalivirasto\\_\(tukes\)\\_uudesta\\_energiamerkista\\_apua\\_valaisimen\\_valintaan.6315.news](http://www.motiva.fi/ajankohtaista/motivan_tiedotteet/2014/motiva_ja_turvallisuus_ja_kemikaalivirasto_(tukes)_uudesta_energiamerkista_apua_valaisimen_valintaan.6315.news)

PHILIPS. Energiansäästö. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2014-03-26.] Saatavissa: [http://www.lighting.philips.fi/application\\_areas/controls/about/energysavings.wpd](http://www.lighting.philips.fi/application_areas/controls/about/energysavings.wpd)

SFS-EN-12464-1. 2011. Sisätyötilojen valaistus.

ST-KORTTI 57.52 2008. Led-valaistusjärjestelmät. Sähkötieto ry. [E-kirja]. [Viitattu 2014-03-21.] Saatavissa: <http://severi.sahkoinfo.fi.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/item/3152?search=57.52>

ST-KORTTI 58.02 2013. Valaistuksen toteutus standardin SFS-EN-12464-1 mukaisesti. Sähkötieto ry. [E-kirja]. [Viitattu 2014-03-22.] Saatavissa: <http://severi.sahkoinfo.fi.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/item/675?search>

ST-KORTTI 58.03 2013. Valaistuslaskennan lähtötiedot ja laskennan tulosten arviointi. Sähkötieto ry. [E-kirja]. [Viitattu 2014-03-21.] Saatavissa: <http://severi.sahkoinfo.fi.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/item/673?search=58.03>

ST-KORTTI 58.04 2013. Ohjeita valaistuksen suunnitteluun ja toteutukseen. Sähkötieto ry. [E-kirja]. [Viitattu 2014-03-26.] Saatavissa: <http://severi.sahkoinfo.fi.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/item/672?search=58.04>

ST-KORTTI 58.08 2009. Valonlähteiden ominaisuudet. Sähkötieto ry. [E-kirja]. [Viitattu 2014-03-22.] Saatavissa: <http://severi.sahkoinfo.fi.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/item/676?search=58.08>

ST-KORTTI 58.32 2004. Valaistuksen ohjaus, Sähkötieto ry. [E-kirja]. [Viitattu 2014-03-26.] Saatavissa: <http://severi.sahkoinfo.fi.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/item/670?search=58.32>

SUOMEN VALOTEKNILLINEN SEURA ry 2008. Valaistushankintojen energiatehokkuus. [PDF- dokumentti]. [Viitattu 2013-03-25.] Saatavissa: [http://www.valosto.com/tiedostot/SVS\\_Valaistushankintojen\\_energiatehokkuus\\_V4.pdf](http://www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf)

SÄHKÖINFO OY 2010. EuP -direktiivin vaikutus valaistusuudistuksiin [PDF-dokumentti]. [Viitattu 2014-03-21.] Saatavissa: <http://severi.sahkoinfo.fi.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/item/2034?search=EuP-direktiivi+ohjaa>

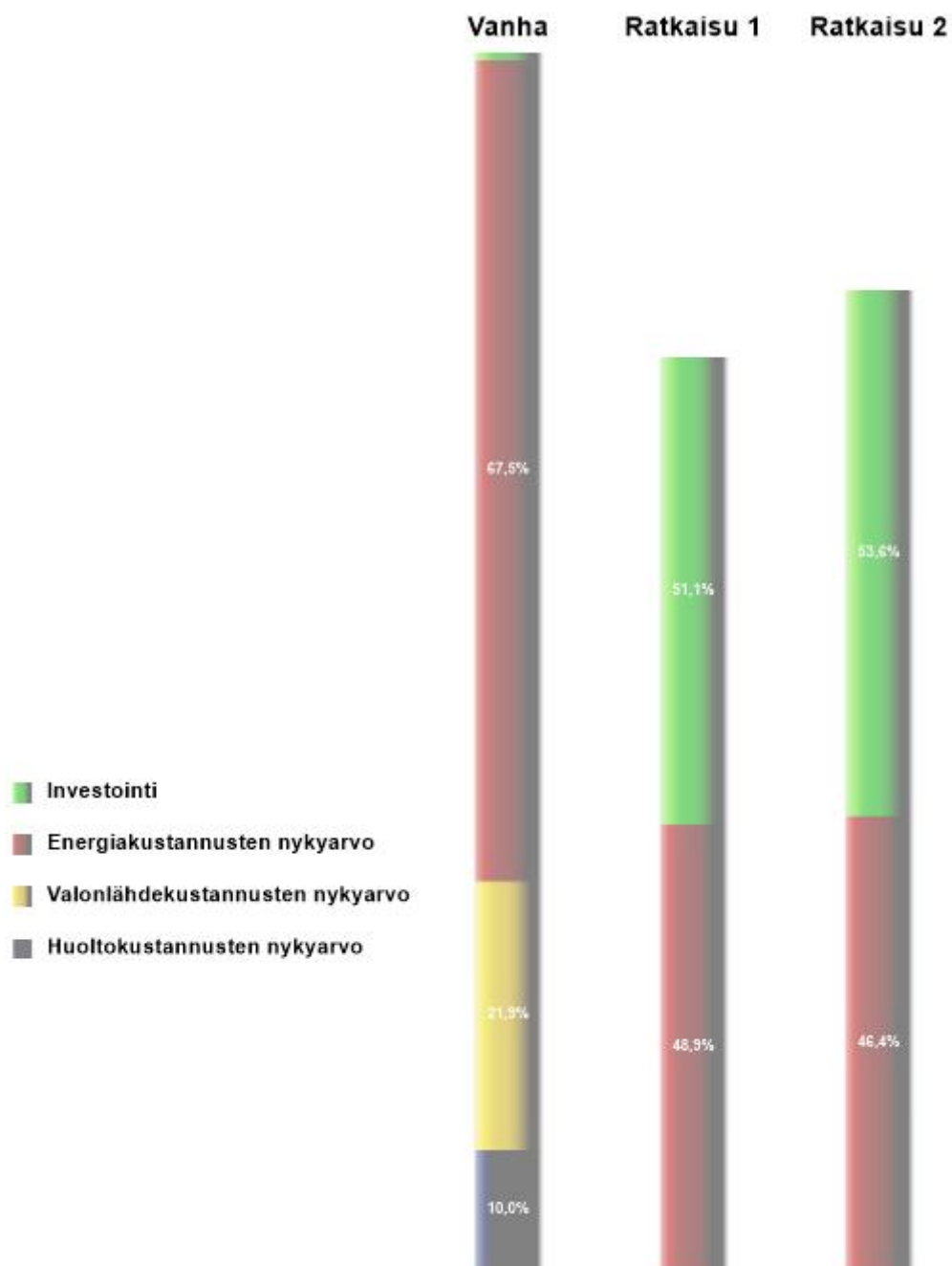
TUKES 2010. Loisteputkia korvaavat LED-valoputket todettu vaarallisiksi. [Tiedote]. [Viitattu 2014-03-23.] Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/Ajankohtaista/Tiedotteet/Sahko-ja-hissit/Loisteputkia-korvaavat-LED-valoputket-todettu-vaarallisiksi/>

TUKES 2013. Led-valoputket loisteputkien korvaajina. [PDF- dokumentti]. [Viitattu 2014-03-22.] Saatavissa: [http://www.tukes.fi/Tiedostot/sahko\\_ja\\_hissit/ohjeet/LED\\_valoputket\\_loisteputkien\\_korvaajina.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/sahko_ja_hissit/ohjeet/LED_valoputket_loisteputkien_korvaajina.pdf)

VALTAVALO 2014 a. Valtavalo G3 LED tube. [Käyttöohje]. [Viitattu 2014-03-24.] Saatavissa: [http://www.valtavalo.com/dl/Support/Valtavalo\\_G3\\_Manual.pdf](http://www.valtavalo.com/dl/Support/Valtavalo_G3_Manual.pdf)

VALTAVALO 2014 b. Elite G2 LED-valoputki esite. [Esite]. [Viitattu 2014-03-23.] Saatavissa: [http://www.valtavalo.com/dl/Spec/ELITEG2\\_LED-valoputki\\_Esite.pdf](http://www.valtavalo.com/dl/Spec/ELITEG2_LED-valoputki_Esite.pdf)

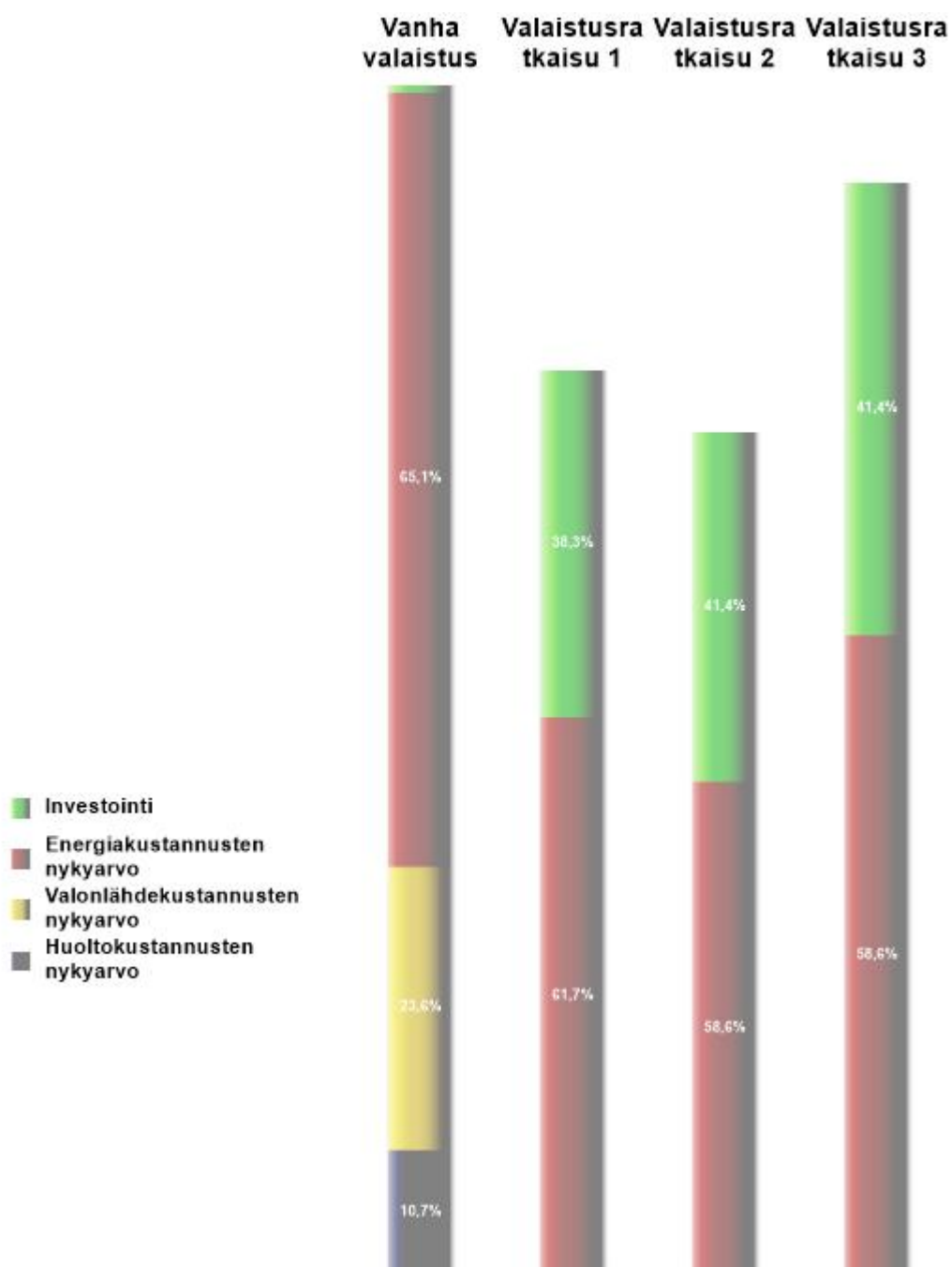
## LIITE 1: TOIMISTON VALAISTUSRATKAISUJEN KUSTANNUKSIEN KUVAAJA



KUVIO 18. Toimiston valaistuksen prosentuaaliset kustannukset



## LIITE 2: TEOLLISUUSHALLIN VALAISTUSRATKAISUJEN KUSTANNUKSIEN KUVAAJA



KUVIO 19. Teollisuushallin valaistuksen prosentuaaliset kustannukset